

• РАДИО И СВЯЗЬ •

# СПРАВОЧНИК

---

ПРИБОРНО-МОДУЛЬНЫЕ  
УНИВЕРСАЛЬНЫЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
СИСТЕМЫ

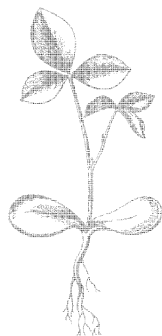
# **СПРАВОЧНИК**

## **ПРИБОРНО-МОДУЛЬНЫЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
ПРОФЕССОРА В.А.КУЗНЕЦОВА



МОСКВА „РАДИО И СВЯЗЬ”  
1993



Scan AAW

ББК 32.88-5-07  
П75  
УДК 621.317.7:681.327.8 (03)

**Федеральная целевая программа книгоиздания России**

Авторы: В. А. Кузнецов, В. Н. Строителев, Е. Ю. Тимофеев, Б. Е. Редькин,  
А. Н. Прищепа, Ю. Г. Солонецкий, А. Н. Крошкин, С. Н. Чурилов

Рецензент К. Г. Кирьянов

**Редакция литературы по радиотехнике и электросвязи**

*Выходу в свет этой книги способствовало спонсорское участие  
Государственного технического университета —  
Московского института электроники и математики (МИЭМ),  
Мытищинского научно-исследовательского приборостроительного института  
и страховой компании «Ангел».*

**Приборно-модульные универсальные автоматизированные**  
П75 измерительные системы: Справочник/В. А. Кузнецов,  
В. Н. Строителев, Е. Ю. Тимофеев и др.; Под ред. В. А. Куз-  
нецова.— М.: Радио и связь, 1993.— 304 с.: ил.  
ISBN 5-256-00619-3.

Излагаются вопросы построения автоматизированных измерительных систем (АИС) на основе использования приборов-модулей, объединяемых с помощью стандартного приборного интерфейса между собой и управляемых внешней ЭВМ. Рассматриваются особенности применения интерфейса в приборно-модульных универсальных АИС, способы расширения возможностей интерфейса (по протяженности магистрали и числу присоединяемых приборов-модулей), приводятся справочные данные по отечественным приборам-модулям, имеющим встроенные интерфейсные функции.

Для инженерно-технических работников, занятых разработкой и эксплуатацией сложных радиоэлектронных устройств, преподавателей и студентов при изучении курсов «Информационно-измерительная техника», «Метрология, стандартизация и управление качеством».

П 2302020600-040 11-93  
046(01)-93

**ББК 32.88-5-07**

**ISBN 5-256-00619-3**

© Кузнецов В. А., Строителев В. Н.,  
Тимофеев Е. Ю. и др., 1993

## Введение

Усложнение технических устройств, особенно радиоэлектронных комплексов, происходящее от поколения к поколению, приводит к необходимости в процессе их разработки, производства и эксплуатации контролировать и измерять сотни, тысячи, иногда десятки тысяч параметров и характеристик. При этом все чаще требуется получать результаты измерений (контроля) с высокой точностью. Еще в 50-х годах было выяснено, что эффективность контроля и измерений большого числа параметров достигается только при автоматизации процессов измерений и обработки их результатов. Первые типы автоматизированных измерительных систем были малопроизводительны, решали в основном задачи качественного контроля, т. е. отвечали на вопрос, в норме или не в норме находится параметр, или индицировали только его наличие или отсутствие. Эти задачи и впредь предстоит решать при контроле и диагностике технического состояния сложных комплексов. Но вместе с тем допуски, в пределах которых «разрешается» находиться параметрам, с увеличением требований к точности функционирования сложных комплексов становятся все более узкими. Эти допуски во многих случаях становятся адекватными погрешностям применяемых для контроля средств измерений, т. е. процедура контроля в условиях повышения точности становится по существу процедурой количественного контроля, измерительного контроля.

Таким образом, контроль и измерение оказываются жестко взаимосвязанными. Раньше автоматизированные системы предназначались для «грубого» контроля и назывались автоматизированными системами контроля (АСК). В настоящее время они решают задачи контроля с выраженными измерительными функциями и обычно называются автоматизированными измерительными комплексами (АИК) или автоматизированными измерительными системами (АИС).

Автоматизированные системы контроля создавались специальными под конкретный тип объекта контроля (часто индивидуальными, сервисными были и входящие в АСК средства измерений). В процессе жизненного цикла любой объект контроля (например, радиолокационная станция) претерпевает многочисленные функционально-схемные и соответствующие конструктивные изменения. При этом АСК «отстает» от этих изменений, так как разработчики объекта контроля и АСК в большинстве случаев находятся в разных организациях. Естественно, АСК со временем перестает контролировать значительное число параметров. Это вызывает необходимость применять в большом количестве другие средства контроля, измерительные приборы общего применения, не входящие в состав АСК.

В последние годы появилась возможность перейти от подобных АСК к гибким, универсальным АИС, позволяющим легко (иногда без помощи специалистов — разработчиков АИС) изменять функциональные возможности в соответствии с видоизменением параметров и функций объекта контроля. Более того, универсальные АИС в состоянии обеспечивать контрольно-измерительными процедурами объекты контроля разных типов (например, радиолокационная, радионавигационная и радиосвязная аппаратура разных типов). Универсальность современных АИС обуславливается применением стандартного интерфейса, стандартных, серийно выпускаемых средств измерений общего применения (приборов-модулей)

со встроенными интерфейсными функциями, а также внешних ЭВМ (часто применимы персональные ЭВМ).

Универсальные АИС имеют неоспоримые преимущества перед другими их видами, хотя иногда и встречается стремление держаться на позициях АСК индивидуального типа, несмотря на их существенные недостатки по сравнению с универсальными АИС. В литературе встречаются попытки отыскать недостатки универсальных АИС, причем эти «недостатки» определяют преимущества универсальных АИС по сравнению с АСК. Так, говорят, что включаемые в состав АИС серийные средства измерений общего применения (приборы-модули) приводят к избыточности, так как обычно используется только часть функций прибора-модуля. Сетуют и на то, что серийные приборы-модули, как правило, имеют более высокую точность по сравнению с требуемой для контроля работоспособности.

Но любая универсальность может быть достигнута только за счет избыточности. Избыточность по диапазону и точности средств измерений в данном объекте контроля может явиться неизменным условием их применения в других объектах контроля.

Опыт показал, что использование индивидуальных, встроенных в АСК низкоточных измерительных (а чаще индикаторных) приборов вызывает необходимость иметь для диагностики работоспособности объекта контроля дополнительно большое число серийных средств измерений общего применения на те случаи, когда АСК дает сигнал «параметр не в норме». Универсальная АИС используется как для индикации состояния параметров «в норме, не в норме», так и для поиска отказавшего узла, элемента, когда требуется не индизировать наличие того или иного параметра, а измерить его с требуемой точностью. Данное справочное издание направлено, в частности, на то, чтобы показать большому числу специалистов (не только разработчиков, но и пользователей АИС) сравнительную простоту программирования взаимодействия узлов АИС при передаче-приеме информации, управления работой АИС, научить несложным процедурам получения надежной информации, предоставляемой пользователю благодаря «счастливым качествам», заложенным в стандартных интерфейсах. Эти качества дают возможность применить сотни, а может, и тысячи вариантов использования приборов-модулей, вспомогательных устройств, ЭВМ для улучшения тех или иных показателей АИС: быстродействия, достоверности получаемой информации, наглядности ее представления и т. д. Более того, как показано авторами, в универсальной АИС можно обойтись и меньшим числом прибор-модулей, чем это необходимо для рутинного решения многих измерительных задач: наличие ЭВМ и интерфейса позволяет применить, например, осциллограф с встроенными интерфейсными функциями в качестве анализатора спектра. Таким образом, параметры качества универсальной АИС не стандартизированы, не ограничены параметрами приборов-модулей и ЭВМ, а позволяют пользователям и специалистам-разработчикам АИС добиваться их оптимальности при творческом подходе к построению и математическому обеспечению. На развитие такого подхода ориентированы, в частности, гл. 2, 4 и последний параграф гл. 3.

Содержание книги ориентировано на создание АИС с применением стандартного приборного интерфейса КОП. Этот интерфейс поддерживают около 300 типов серийных приборов-модулей (средств измерений общего применения). В нашей стране использование КОП будет перспективным примерно 10—15 лет. Вместе с тем за рубежом в 1990—1991 гг. получил распространение более универсальный быстроедействующий, хотя и более дорогостоящий, интерфейс VХI, совместимый с КОП.

В книге большое внимание уделено метрологическому обеспечению АИС, поскольку универсальные АИС представляют собой точные системы.

Объем справочника и его основная направленность не позволили достаточно подробно отразить некоторые вопросы, которые возникают перед разработчиками, например выбор и включение в АИС измерительных преобразователей (датчиков), конструирование устройств сопряжения объектов контроля с АИС. Но эти вопросы актуальны не только для универсальных, но и для АИС других видов.

Авторы справочника опирались как на многочисленные публикации, указанные в списке литературы, так и на свой опыт создания (на макетном уровне)

универсальных АИС различного, главным образом диагностического направления, а также на опыт применения приборов-модулей. Это обусловило оригинальность многих разделов книги.

Главы 1 и 5 написаны совместно докт. техн. наук, проф. В. А. Кузнецовым и докт. техн. наук В. Н. Строителевым, гл. 2 и 4—канд. техн. наук Е. Ю. Тимофеевым, гл. 3—Б. Е. Редькиным, А. Н. Прищепой, Ю. Г. Солонецким, А. Н. Крошкиным, С. Н. Чуриловым.

В гл. 2, 4 и 5 использованы материалы, любезно предоставленные С. Л. Разенковым, С. В. Мусатовым, Л. Ю. Ломакиным, Ю. Н. Курьеровым и И. В. Трифоновым, которым авторы выражают признательность.

## Глава 1

# Общие вопросы построения автоматизированных измерительных систем

### 1.1. Назначение и принципы построения АИС

Измерения являются основным средством получения объективной информации о работоспособности сложных технических устройств. Особое место занимают радиоэлектронные комплексы, где организация измерений и контроля затруднена из-за большого числа параметров и характеристик, определяющих качество функционирования комплекса. Разнообразие параметров и характеристик вызывает необходимость пользоваться различными приборами для измерений и контроля: амперметрами, вольтметрами, ваттметрами, измерителями КСВН, измерителями комплексных коэффициентов передачи, электронно-счетными частотомерами, осциллографами, анализаторами спектра, измерителями коэффициента шумов, генераторами высокочастотных и низкочастотных сигналов, анализаторами логических состояний и др. В ряде случаев при измерениях и контроле привлекаются десятки и сотни средств измерений различных типов. Поочередное или одновременное подключение к объекту контроля этих средств измерений, получение контрольно-измерительной информации и ее обработка занимают большое время и приводят к неоправданному расходованию ресурса контролируемых объектов.

Сокращение времени контроля, измерений и обработки результатов при сохранении (и даже расширении) объема измерений и контроля, уменьшение общих затрат на измерения (с учетом уменьшения расходования ресурса объектов контроля), повышение достоверности контроля — преимущества, которые обеспечивает внедрение автоматизации во все процессы измерений и контроля сложных технических устройств. Эти преимущества проявляются тем в большей степени, чем выше уровень автоматизации и быстродействия.

Автоматизация в измерительной технике на первом этапе своего развития (50-е гг.) применялась в основном в устройствах сбора и обработки измерительной информации с представлением в аналоговом виде на индикаторах или регистраторах. Средства измерений имели ручное управление или специально разрабатывались для автоматизированного управления процессом измерений. Подобные измерительные системы применялись автономно (по отношению к объекту контроля), встраивались в объект контроля или были смещенными (с возможностью автономного и встроенного применения).

В середине 60-х гг. появились автоматизированные системы, в которых обеспечивались измерение сотен параметров и характеристик объектов контроля и обработка результатов измерений с помощью специализированных вычислительных устройств. Централизованный сбор измерительной информации, ее обработка (в тот период обычно с помощью аналоговых вычислительных устройств) привели к значительному повышению эффективности контроля: сократилось время, затрачиваемое на контроль, повысилась его достоверность. Вместе с тем

надежность первых АИС, которые назывались автоматизированными системами контроля (АСК), была недостаточной, они были громоздкими, метрологически не обеспеченными (измерительные узлы представляли единое целое с остальными узлами АСК, что не позволяло проводить поверку измерительных узлов). Индивидуальность, т. е. совместимость только с конкретными объектами контроля, лишала АСК возможности «отслеживать» модернизацию (доработку) объектов контроля в процессе эксплуатации. В течение нескольких лет эксплуатации объект контроля подвергался доработке, в процессе которой менялись контролируемые параметры. В результате ряд измерительных узлов АСК становился несовместимым с модернизированными узлами объекта контроля.

В 70-е гг. средства измерений стали оснащаться микропроцессорами. Это позволило, во-первых, почти полностью исключить ручные операции по настройке, регулировке и переключению режимов работы средств измерений, во-вторых, обеспечить первичную обработку измерительной информации и, в-третьих, сделать средства измерений программно-управляемыми.

Но, пожалуй, более важными оказались другие преимущества совмещения микроЭВМ со средствами измерений. Дело в том, что микропроцессор прибора-модуля и внешняя ЭВМ построены по одинаковым принципам и большинство составляющих их узлов идентичны. Это обеспечивает электрическую, информационную и во многом конструктивную совместимость прибора-модуля и внешней ЭВМ (мини-ЭВМ, ПЭВМ). Следовательно, для управления приборами-модулями и объектом контроля со стороны внешней ЭВМ, а также обмена измерительной информацией достаточно иметь каналы приемопередачи цифровых сигналов. С этой целью были созданы приборные интерфейсы — технические устройства, позволяющие соединить в единую программно-управляемую систему объект контроля, средства измерений и ЭВМ. При этом устанавливаются стандартные форматы передаваемой и принимаемой информации, уровни сигналов, временная последовательность прохождения управляющих и информационных сигналов и др. Универсальность микропроцессорных средств измерений, приборных интерфейсов и ЭВМ обусловила гибкость и универсальность АИС. В настоящее время подобные АИС стали наиболее распространенным видом систем контроля и измерений для сложных технических устройств, особенно радиоэлектронных комплексов.

В связи с тем что все составляющие универсальных АИС, за исключением средств сопряжения с объектом контроля, выпускаются серийно и являются, таким образом, модульными, в качестве основного принципа построения этих АИС представляется агрегатный (модульный), что и определяет наибольшие возможности видоизменения АИС для выполнения новых функций. Получили распространение два вида агрегатных систем контроля: приборно-модульные и функционально-модульные. В первом случае агрегируемыми модулями являются измерительные приборы, во втором — функциональные узлы измерительных приборов: преобразователи, усилители, ЦАП, АЦП, функционально законченные измерительные платы, получившие название одноплатных приборов.

Основным условием, обеспечивающим построение агрегатных АИС, является совместимость модулей, когда технические, электрические, габаритные и другие характеристики различных модулей согласованы между собой. Наиболее важными видами совместимости являются: функциональная, информационная, конструктивная, энергетическая, электрическая, метрологическая и эксплуатационная.

Отечественная промышленность выпускает большое число приборов-модулей для измерительных систем различных классов. Такие модули обладают всеми или почти всеми видами совместимости. Для построения измерительной системы того или иного назначения обычно требуется выбрать модули с тремя-четырьмя видами совместимости (наиболее важны конструктивная, информационная и электрическая совместимость).

Совместную работу приборов-модулей в единой измерительной системе можно сравнить с работой оркестра и дирижера, который указывает, какой инструмент и в какой момент должен звучать. В качестве дирижера в измерительной системе выступает ЭВМ (мини-ЭВМ) или контроллер, ноты же для исполнения партии каждым прибором-модулем представлены программами встроенных в приборы микропроцессоров.



Информационной артерией, по которой осуществляется общение между объектами контроля (ОК), приборами-модулями и ЭВМ, является шина интерфейса. Каждый из модулей АИС может быть контроллером, передатчиком, приемником информации. Модули могут выполнять все эти функции (ЭВМ) или только отдельные (например, прибор-модуль, являющийся при получении команды ЭВМ приемником, а при выдаче измерительной информации — передатчиком).

Интерфейсы разделяются на цепочечные (каскадные), радиальные и магистральные. Для сложных АИС с большим числом приборов-модулей предпочтителен магистральный интерфейс: он менее избыточен по сравнению с радиальным и обладает более высоким быстродействием по сравнению с цепочечным. Возможны комбинации интерфейсов, например радиально-магистральный интерфейс (рис. 1.1).

В измерительных системах с применением ЭВМ широко используют интерфейсы с шинами данных, адресов, управления и синхронизации. В конкретной системе отдельные шины могут объединяться или разделяться по назначению во времени (мультиплексирование). Все сигналы, передаваемые по шинам интерфейса, условно можно разделить на две группы: информационные и управляющие. Первые служат для передачи результатов измерений, выполненных системой, либо для передачи данных о состоянии модулей системы. Вторые необходимы для согласованной работы модулей в системе, позволяют идентифицировать передаваемую информацию, подтверждать факт ее приема.

По шинам интерфейса сигналы обычно передаются в двоичном коде, каждый разряд которого называется битом. В вычислительной технике употребляют более крупную величину — байт, равный 8 битам.

Обмен данными в интерфейсных шинах может проводиться параллельно, последовательно-параллельно и последовательно. При параллельном обмене информационное слово, содержащее  $n$  бит, одновременно вводится в интерфейс передатчиком и воспринимается приемником. Для его реализации необходимо  $n$  интерфейсных линий. При параллельно-последовательном обмене данными слово из  $n$  бит делят на группы по  $m$  бит каждая. Передача и прием слова для  $m$  бит ведется параллельно, а для  $n/m$  групп — последовательно. В последовательном интерфейсе передачу и прием сигналов осуществляют по двум линиям. Первая линия предназначена для тактовых сигналов, вторая — для информационных и управляющих сигналов.

Параллельный интерфейс характеризуется наибольшей скоростью обмена сообщениями и максимальной стоимостью кабельной линии. Для последовательного интерфейса скорость общения и стоимость кабельной линии минимальны, он требует сложных оконечных каскадов для передачи и приема сообщений. Последовательный интерфейс обычно применяется при агрегатировании модулей, удаленных друг от друга более чем на 300...500 м.

Обмен данными в интерфейсе может производиться синхронно и асинхронно. В первом случае передатчик информации определяет темп выдачи сообщений в шины. Такой принцип обмена позволяет достичь высоких показателей быстродействия, особенно при передаче информации на большие расстояния. Асинхронный обмен данными более универсален, но имеет меньшую производительность. Для него характерно наличие дополнительных управляющих сигналов, передаваемых по специальным линиям.

В 1966—1968 гг. Комитетом ESONE (Европейский стандарт на ядерную электронику) [14] был разработан интерфейс КАМАК (Computer Application for Measurement and Control). Он был поддержан рядом стран для построения автоматизированных информационно-измерительных систем в области физики элементарных частиц. Сейчас КАМАК используется и при создании контрольно-измерительных систем в научно-исследовательских институтах (главным образом — АН РФ) и некоторыми предприятиями промышленности.

В интерфейсе КАМАК, предусматривающем функционально-модульное построение систем, стандартизованы размеры конструктивных элементов, разъемы, электрические схемы соединений, сигналы и форматы данных, а также логические правила обмена данными. Основным конструктивным элементом системы КАМАК является крейт (кассетный блок), в каркасе которого размещаются 25 станций

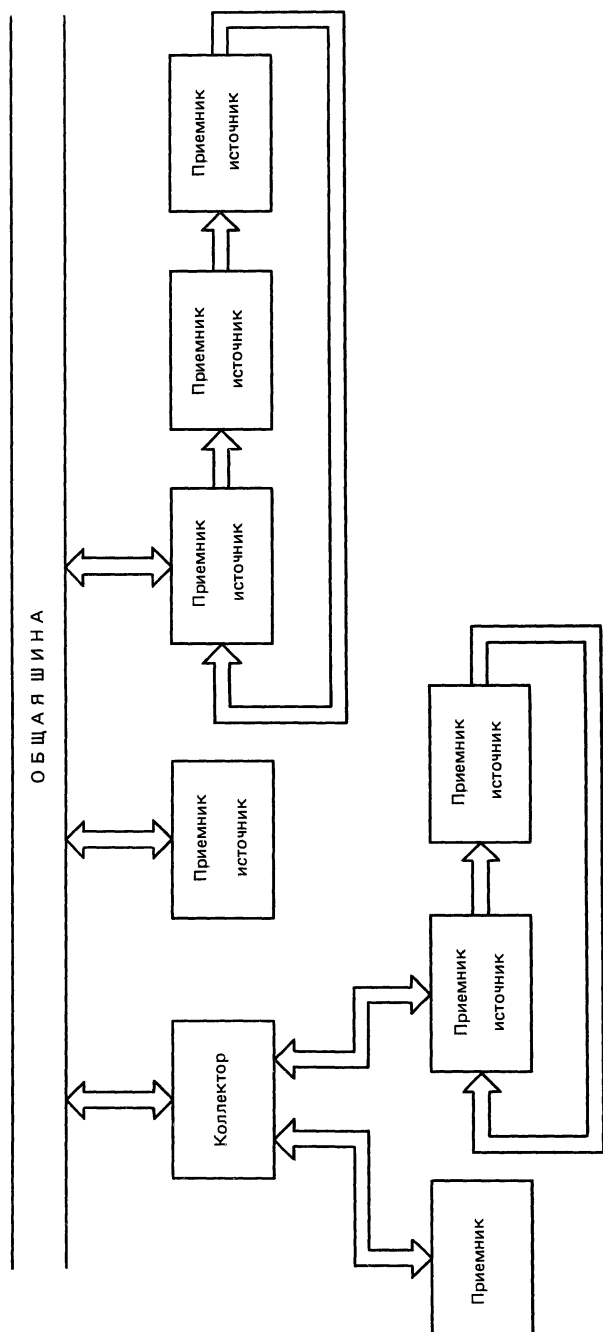


Рис. 1.1. Схема комбинированного интерфейса

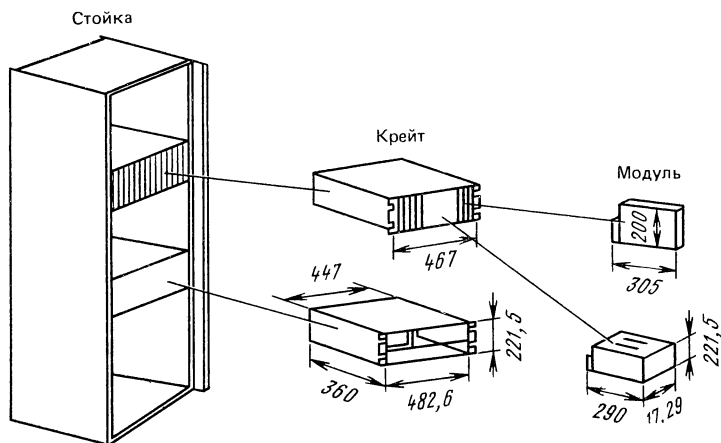


Рис. 1.2. Типовая конструкция КАМАК (размеры даны в миллиметрах)

(ячеек) с направляющими для вставных модулей (23 функциональных модуля и один контроллер, занимающий 24- и 25-ю ячейки). Тыльная часть модуля заканчивается 86-контактным разъемом, соединяемым с магистралью крейта. Связи внутри крейта образуют горизонтальный интерфейс системы. Обмен информацией между несколькими крейтами (до сети) и ЭВМ верхнего уровня осуществляется по принципу ветви. Эти связи образуют вертикальный интерфейс. В интерфейсе КАМАК разделены шины передачи данных, команд и адресов. В России на сменные блоки (модули), крейты (секции), на параллельный и последовательный интерфейсы системы КАМАК введены соответствующие стандарты: ГОСТ 26.201—80, 26.201.1—84, 26.201.2—84 (рис. 1.2).

Система, аналогичная по структуре и логике работы системе КАМАК, но учитывающая специфику принятых в нашей стране конструктивных размеров модулей, получила название ВЕКТОР [9]. Система ВЕКТОР имеет следующие отличия от КАМАК: конструкция основана на растровом принципе с шагом 20 мм (поэтому в крейте системы ВЕКТОР может быть размещено до 24 модулей); используются только отечественные комплектующие элементы; является единой как для цифровых, так и для аналоговых устройств. Конструктивная совместимость систем КАМАК и ВЕКТОР обеспечивается простыми адаптерами. Другие характеристики этих систем полностью совпадают.

Система КАМАК приспособлена к работе с интенсивными потоками информации, но эффективно может функционировать только в лабораторных условиях, так как пластинчатый 86-контактный разъем быстро выходит из строя, особенно при передвижении и транспортировке. Регламентация жестких конструктивных требований и большое число интерфейсных линий и соответствующих разъемных соединений являются серьезным препятствием к использованию этого интерфейса в условиях, отличных от лабораторных. Для производства печатных плат, комплектующих модули, неудобны двойные размеры. Кроме того, не налажен серийный выпуск достаточно широкой номенклатуры измерительных модулей КАМАК и в большом числе случаев при решении новых измерительных задач модули приходится создавать заново. Все это ограничивает область применения системы КАМАК лабораторными устройствами, хотя технические решения, применяемые в КАМАК, являются перспективными.

Широкое распространение при создании АИС получил интерфейс на уровне международного стандарта МЭК 625.1, применяемый в нашей стране с использованием ГОСТ 26.003—80. Большинство электронных средств измерений общего применения, выпускаемых отечественной промышленностью, а также за рубежом, имеют встроенные интерфейсные функции на основе этого стандарта.

## 1.2. Структура и состав универсальной АИС

Обобщенная структурная схема АИС приведена на рис. 1.3. Магистраль представляет канал общего пользования (КОП), с которым соединяются средства измерений (СИ)—приборы-модули, средства вычислительной техники (СВТ) и вспомогательные устройства (ВУ). Конструктивно КОП представляет собой набор кабелей определенной конструкции и протяженности (рис. 1.4).

Приборы-модули, совместимые с КОП, определяют функциональные возможности и метрологические характеристики АИС в целом. Первые отечественные приборы с встроенными интерфейсными функциями были выпущены в середине 70-х гг.: вольтметр В7-34, осциллограф С9-5, генератор импульсов Г5-79, генератор сигналов специальной формы Г6-33, электронно-счетный частотомер ЧЗ-47А и др. В настоящее время номенклатура таких СИ позволяет создавать АИС практически с любыми измерительными задачами. Кроме того, большинство выпускаемых в настоящее время за рубежом радиоизмерительных приборов обладают интерфейсными функциями КОП и могут быть использованы наравне с отечественными СИ в составе АИС без каких-либо доработок. Одновременно с расширением номенклатуры СИ с интерфейсными функциями по стандарту КОП происходит улучшение их метрологических, технических и эксплуатационных характеристик. Многие из выпускаемых СИ приспособлены к эксплуатации не только в лабораторных, но и в полевых условиях. Это расширяет границы их возможного применения, в частности в подвижных вариантах АИС.

Для обеспечения автоматического режима работы АИС в ее составе используются СВТ. Управление работой всех устройств АИС осуществляет контроллер. Если ЭВМ не имеет встроенной интерфейсной функции КОП, то несложно изготовить адаптер (см. гл. 4). В качестве внешних запоминающих устройств удобны накопители на гибких магнитных или винчестерских дисках. Кроме того, АИС должна оснащаться алфавитно-цифровым печатающим устройством и дисплеем с клавиатурой.

Для сопряжения АИС с контролируемым объектом в каждом конкретном случае используется определенный состав ВУ, среди которых важнейшие — устройство связи с объектом контроля и коммутатор.

Устройство связи устанавливает режимы работы объекта контроля, переключает диапазоны, осуществляет коммутацию внутри его цепей и т. д.

Коммутатор АИС служит для концентрации и распределения измерительных ресурсов АИС. С его помощью контролируемые выходы объектов контроля по программе ЭВМ подключаются к измерительным входам СИ. В зависимости от видов и объемов контроля в состав АИС могут входить несколько однотипных или разнотипных коммутаторов, например высокочастотные и низкочастотные. Для обеспечения большей полноты автоматизированных проверок технического состояния контролируемых устройств важно, чтобы все ВУ были совместимы с КОП и управлялись через него.

Неотъемлемой частью АИС является ее программное обеспечение (ПО), которое также целесообразно строить по модульному принципу. Это обеспечивает ускорение настройки ПО на изменение задач, решаемых АИС. Программное обеспечение АИС включает в себя две основные части: базовое (системное) программное обеспечение (БПО) и функциональное (прикладное) программное обеспечение (ФПО).

Базовое ПО — наиболее универсальная часть ПО, общая для различных АИС. Программы, входящие в его состав, обеспечивают управление всеми аппаратными и программными ресурсами АИС, связь оператора с системой, а также автоматизацию разработки программ ФПО. Так как БПО носит универсальный характер, оно может разрабатываться и поставляться вместе с управляющей ЭВМ, если последняя является специализированной, не универсальной. При проектировании и сборке конкретной АИС остается только «настроить» БПО под эту систему.

Функциональное ПО реализует конкретные алгоритмы измерений и обработки получаемой информации. При его разработке необходимо иметь четкое представление о задачах, решаемых с помощью данной АИС с учетом их возможного изменения при эксплуатации системы. Следует предусмотреть возможность

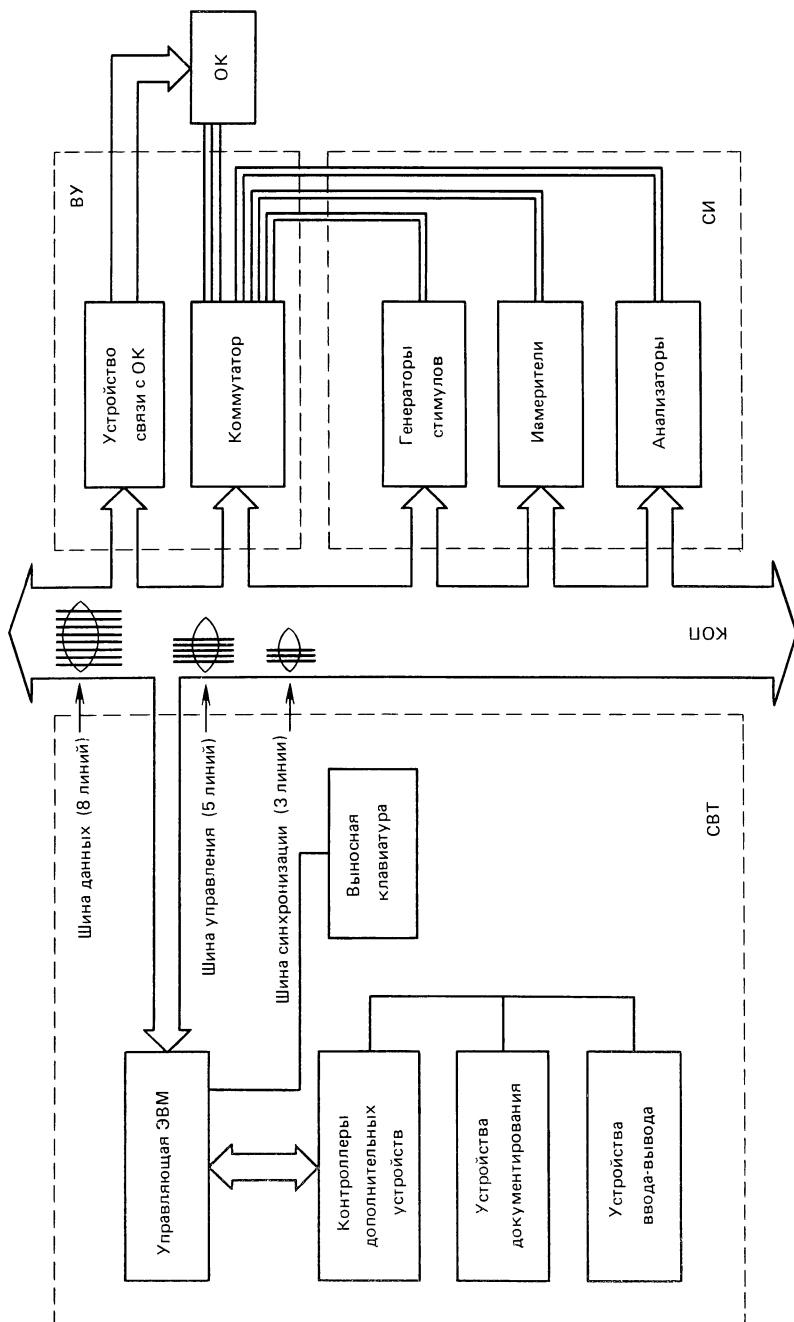


Рис. 1.3. Структурная схема АИС

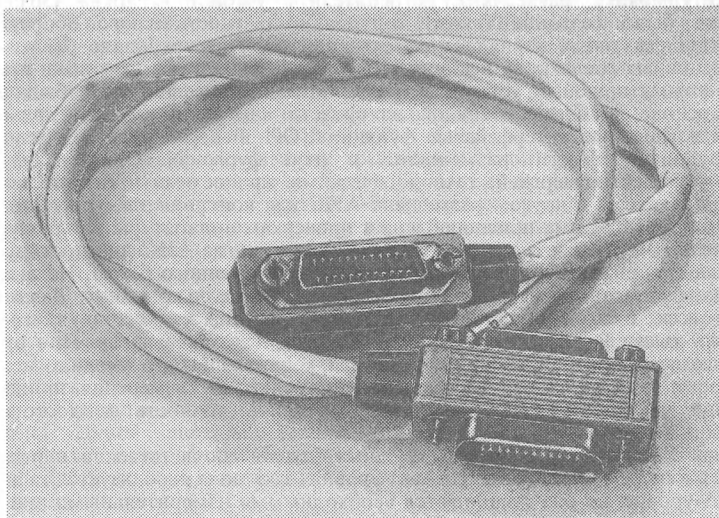


Рис. 1.4. Кабель КОП с разъемами

разработки прикладных программ оператором, не являющимся профессиональным программистом. Желательно реализовать ФПО с учетом возможностей повторного использования некоторых программ в последующих разработках. Со временем может быть создана библиотека прикладных программ, реализующих алгоритмы контроля для технических объектов различных классов. В настоящее время создан широкий набор методов и средств, позволяющих значительно упростить разработку ФПО и обеспечить удобство взаимодействия оператора с ЭВМ. К ним в первую очередь относятся проблемно-ориентированные языки программирования, такие как ОКА, Тест, Atlas, а также ряд других сервисных программных средств (средства обеспечения диалогового режима работы ЭВМ, программы «подсказки» оператору, «меню» — вывод на дисплей перечня возможных действий, из которых следует выбирать требуемое, и др.). Эти методы и средства совместно с периферийными устройствами ЭВМ образуют так называемый интерфейс оператора АИС.

Состав приборов-модулей АИС определяется прежде всего измерительными задачами, т. е. свойствами объекта контроля. Чем больше число контролируемых параметров, тем большее количество СИ включается в АИС. Некоторые технические средства АИС при смене объекта контроля могут оставаться неизменными по функциональному назначению, в других случаях изменяется число кабелей КОП (длина КОП), коммутаторов, устройств внешней памяти. Кроме того, для различных по сложности и функциональному назначению объектов контроля обычно используются однотипные СИ, например мультиметры, электронно-счетные частотомеры, генераторы сигналов. Поэтому один и тот же состав аппаратуры, включаемой в комплектацию АИС, предназначенный для контроля технического состояния различных объектов контроля, называют базовой частью (ядром) АИС. Адаптация базовой АИС к новым видам контролируемых объектов заключается в уточнении состава приборов-модулей и ФПО. Системы контроля и диагностики широкого профиля могут создаваться на основе базовых АИС. Разработчику таких систем достаточно только дополнить базовую АИС необходимыми СИ, разработать соответствующее ФПО, коммутирующие и присоединительные устройства.

Идея построения АИС на приборно-модульном принципе была, в частности, использована фирмой Hewlett-Packard при разработке автоматического контрольно-диагностического оборудования для четырех вариантов шведских самолетов

Viggen: штурмовика, разведчика, истребителя и учебной «спарки» [56]. Целью разработки было создание такого контрольно-диагностического оборудования, которое при указанных вариантах объекта контроля не требовало бы изменения состава основных средств, за исключением программного обеспечения и присоединительно-коммутирующих устройств. Реализация поставленной цели была достигнута на основе АИС, построенной из средств измерений общего применения, имеющих встроенные интерфейсные функции КОП. Все контрольно-диагностическое оборудование Viggen размещается в двух фургонах. Один из фургонов обеспечивает электроэнергией, технологическими жидкостями и газами авиационное оборудование, а в другом размещена АИС для контроля электрорадиоаппаратуры самолетов. Система приспособлена к проверкам аппаратуры на трех уровнях.

Уровень А—это контроль на взлетной полосе, когда АИС диагностирует (при необходимости) аппаратуру с точностью до одного сменного блока. На выявление неисправного блока на взлетной полосе требуется несколько минут. Даже полная проверка всех блоков аппаратуры самолета Viggen, включающая измерения и контроль тысяч параметров, осуществляется за несколько часов. При применяемых ранее неавтоматизированных средствах контроля на это уходило несколько дней. Кроме значительного сокращения времени на измерения и контроль применение указанной АИС позволило повысить точность и достоверность результатов контроля.

Уровни В и С—это контроль сменных блоков соответственно в ремонтной мастерской и на ремонтной базе. На этих уровнях контроля используется та же АИС, что и на А-уровне, но она дополняется необходимыми измерительными приборами и программами диагностирования. При этом локализация отказа осуществляется до сменной платы, при необходимости оператору достаточно нескольких минут для замены отказавшей платы и повторного контроля сменного блока. Уровень С по сравнению с В-уровнем дополнен измерительными приборами и программами для контроля ЭВМ АИС. Сменные блоки аппаратуры самолетов подсоединяются к АИС с помощью специальных блоков интерфейса. Программы измерений и контроля всех уровней написаны на простом, удобном для обслуживающего персонала языке HP AIS BASIC. Программы разрабатываются в соответствии с технической документацией на авиационное оборудование и затем проверяются на испытательном стенде А-уровня. Простота и удобство программирования на HP AIS BASIC позволяют лицам, эксплуатирующим и обслуживающим самолетное оборудование, самостоятельно, без привлечения программистов проводить проверку и корректировку контрольно-измерительных программ. Удобство структуры HP AIS BASIC состоит в том, что в любой точке программы можно провести ее корректировку.

Оборудование АИС для трех уровней контроля аппаратуры самолетов Viggen включает около 40 различных автоматических устройств и измерительных приборов, размещенных в четырех стойках. Измерительные автоматизированные приборы выбраны из приборов серии HP 9500, основу которой составляют стандартные приборы общего применения для формирования стимулирующих сигналов, измерений и вычислений значений контролируемых параметров, связи с объектом контроля. Использование СИ общего применения позволило более качественно обработать техническую документацию на АИС в целом, повысить надежность ее эксплуатации, более эффективно решить вопрос с обеспечением запасными частями, существенно сократить срок разработки системы контроля. Благодаря применению стандартных измерительных средств существенно упростились метрологическое обеспечение.

### **1.3. Техничко-экономические показатели качества АИС**

Измерительные системы характеризуются не только большим числом элементов, но и развитой внутренней структурой, наличием дублирующих цепей, обратных связей и т. д. Поэтому даже высокие показатели качества отдельных частей АИС не всегда являются мерой достаточного качества АИС в целом. Например, функциональные возможности в измерении напряжений не могут характеризоваться только надежностью цифрового вольтметра, если в составе

АИС имеется еще и осциллограф, который может быть использован для измерения напряжений. Кроме того, высокое быстродействие ЭВМ позволяет ограниченным составом СИ, входящих в АИС, получать методом косвенных или совокупных измерений значения различных физических величин в том случае, если для их измерения отсутствуют необходимые СИ. Так, если в АИС отсутствует прибор-модуль для измерения мощности высокочастотных колебаний, то достаточно иметь прибор для измерения напряжения и тока соответствующей частоты.

Кроме того, АИС по-разному реализуют свои качественные свойства в зависимости от объекта контроля. Если в одном случае важно получить высокое быстродействие контроля, то в другом — точность измерений. Поэтому, сравнивая различные АИС, обычно имеют в виду их потенциальные возможности, которые могут быть реализованы при определенных условиях.

Для сложных технических систем фундаментальным понятием, характеризующим в наиболее обобщенном виде их свойства, является эффективность. Под эффективностью системы понимают меру целесообразности ее применения и обычно оценивают вероятностью выполнения возложенных задач на требуемом уровне. Различают техническую (функциональную) и технико-экономическую эффективность. Техническая эффективность измерительной системы определяется уровнем и качеством измерительной информации, получаемой в процессе применения данной системы. Техничко-экономическая эффективность отражает такие свойства измерительной системы, которые определяют материальный выигрыш (доход) или, наоборот, материальные потери, связанные с ее применением.

В качестве показателя технико-экономической эффективности АИС может быть выбрана величина

$$\mathcal{E} = \Delta I / C, \quad (1.1)$$

где  $\Delta I$  — эффект, получаемый от применения АИС;  $C$  — стоимость АИС. В (1.1)  $\Delta I = I_{\text{АИС}} - I_0$  характеризует приращение необходимой информации о техническом состоянии объекта контроля, получаемой в результате применения АИС ( $I_{\text{АИС}}$ ), по сравнению с тем случаем, когда его техническое состояние определяется без применения АИС ( $I_0$ ). Равенство нулю величины или ее отрицательное значение свидетельствуют о нецелесообразности использования АИС. Такой же вывод может повлечь небольшое (сверх единицы) значение  $\mathcal{E}$ .

Важнейшими показателями АИС, от которых зависит качество получаемой измерительной информации, являются точность измерений параметров ОК, достоверность контроля и быстродействие АИС. В общем случае эти показатели зависят один от другого, причем улучшение значений одного из них не всегда аналогичным образом изменяет значения двух других показателей. Например, повышение точности за счет проведения многократных измерений улучшает достоверность контроля, но снижает быстродействие.

Иногда эффективность АИС сравнивают (оценивают) с помощью показателей вида «вероятность ошибки — стоимость ущерба», например [41]:

$$C = C_1 p_n \alpha + C_2 (1 - p_n) \beta, \quad (1.2)$$

где  $C$  — суммарная стоимость ущерба;  $C_1, C_2$  — стоимость ущерба, вызванного ошибочными решениями по результатам контроля;  $p_n$  и  $(1 - p_n)$  — вероятность поступления на контроль исправного и неисправного объектов соответственно;  $\alpha$  и  $\beta$  — вероятности ложного и необнаруженного отказов соответственно.

Для характеристики точности измерительных систем обычно используют величину, обратную точности, — погрешность измерений. Результирующая погрешность АИС складывается из ряда составляющих, образуемых погрешностями, вносимыми в результат измерения различными элементами АИС: коммутатором, ЭВМ, КОП, СИ и т. д. (см. гл. 5).

Достоверность контроля определяется степенью объективного отображения результатами контроля действительного технического состояния контролируемого объекта. Иногда считают, что при получении ответа на вопрос, находится или нет в пределах допуска контролируемые параметры, система не требует применения высокоточных СИ. Это неверное суждение. Как правило, при не слишком



«широком» поле допуска на контролируемые параметры удовлетворительная достоверность контроля может быть достигнута только при достаточно высокой точности СИ. Ограниченная точность измерительных каналов АИС является одной из основных причин возможных ошибок при оценке технического состояния контролируемого объекта.

Качество контроля обычно характеризуют ошибками первого рода ( $\alpha$ ), когда после контроля исправный объект признается неисправным (ложный отказ), и второго рода ( $\beta$ ), когда неисправный объект контроля признается исправным (необнаруженный отказ).

В общем виде вычисление ошибок первого и второго рода производится по формулам

$$\alpha = \int_a^b f(x) \left[ \int_{-\infty}^{a-x} f(\xi) d\xi + \int_{b-x}^{\infty} f(\xi) d\xi \right] dx; \quad (1.3)$$

$$\beta = \int_{-\infty}^a f(x) \left[ \int_{a-x}^{b-x} f(\xi) d\xi \right] dx + \int_b^{\infty} f(x) \left[ \int_{a-x}^{b-x} f(\xi) d\xi \right] dx, \quad (1.4)$$

где  $f(x)$  — плотность распределения контролируемого параметра;  $f(\xi)$  — плотность распределения погрешности СИ;  $a$  и  $b$  — соответственно нижняя и верхняя границы допуска на контролируемый параметр.

В [41] представлены номограммы, графики и таблицы, характеризующие зависимости  $\alpha$  и  $\beta$  от вида законов распределения контролируемого параметра и погрешностей СИ, приводятся явные аналитические выражения для наиболее часто встречающихся нормального и равномерного законов распределений.

При известных  $\alpha$  и  $\beta$  вероятность верного заключения о техническом состоянии объекта после его контроля

$$p_v = 1 - (\alpha + \beta). \quad (1.5)$$

Если в объекте контролируется  $n$  независимых параметров, то суммарные вероятности ошибок первого и второго рода

$$\alpha_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i); \quad (1.6)$$

$$\beta_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \beta_i). \quad (1.7)$$

При выполнении условий  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = \alpha$ ,  $\alpha \ll 1$ ;  $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = \beta$ ,  $\beta \ll 1$  получаем  $\alpha_{\Sigma} = 1 - (1 - \alpha)^n \approx n\alpha$ ;  $\beta_{\Sigma} = 1 - (1 - \beta)^n \approx n\beta$ , откуда достоверность контроля объекта в целом

$$p_{v\Sigma} = 1 - n(\alpha + \beta). \quad (1.8)$$

При прочих равных условиях достоверность контроля тем выше, чем меньше  $\alpha$  и  $\beta$ , т. е. чем выше точность используемых СИ (при сохранении неизменным поля допуска на контролируемые параметры). Некоторого повышения точности измерительных каналов АИС, имеющих СИ недостаточной точности, можно добиться неоднократными измерениями параметров объекта контроля. Разработаны различные правила, которые положены в основу обработки результатов  $n$ -кратных измерений и принятия решения о состоянии контролируемой характеристики. Широкое распространение получили алгоритм контроля по критерию идеального наблюдателя и мажоритарный алгоритм контроля. Алгоритм контроля по критерию идеального наблюдателя заключается в нахождении по результатам  $n$ -кратных измерений среднего арифметического значения контролируемого параметра

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.9)$$

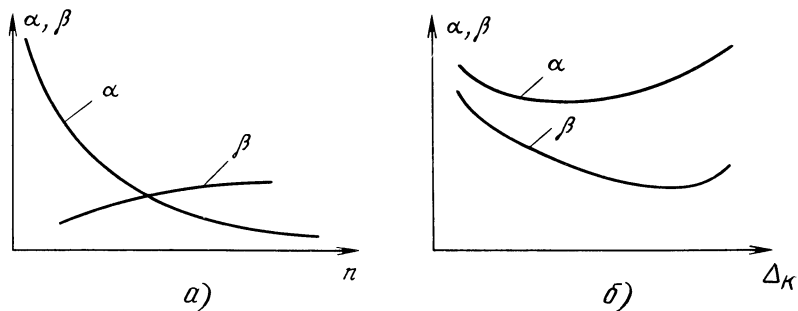


Рис. 1.5. Зависимость вероятности ошибок первого и второго рода  $\alpha$  и  $\beta$  от числа измерений (а) и ширины поля допуска (б)

и сравнении его с новым (более узким) контрольным допуском  $[a_k, b_k']$ :

$$a_k = a + \Delta_k; \quad b_k = b - \Delta_k,$$

где параметр  $\Delta_k$  выбирают исходя из обеспечения требуемых характеристик достоверности контроля.

На рис. 1.5 приведены зависимости ошибок первого и второго рода от числа измерений и значения сужения поля допуска. Анализ показывает, что вероятность ошибок  $\alpha$  резко убывает с увеличением числа выполненных измерений и возрастает с увеличением  $\Delta_k$ ; вероятность ошибок  $\beta$  растет с увеличением числа измерений и существенно убывает с увеличением  $\Delta_k$ .

При мажоритарном алгоритме контроля каждый результат измерения сравнивается с допуском  $[a, b]$ . В общем случае имеем  $m$  результатов контроля, когда «параметр в допуске», и  $(n-m)$  результатов контроля, когда «параметр вне допуска». Если  $m \geq L$ , где  $L$  — заданное число, то принимается решение о соответствии результатов контроля установленным требованиям к точности, если  $m < L$ , то принимается альтернативное решение (параметр не соответствует норме). В общем случае при одинаковых исходных данных (адекватности законов распределений контролируемого параметра и погрешности СИ, равенстве границ допуска на параметр и т. д.) применение идеального алгоритма контроля более эффективно по сравнению с мажоритарным, однако с увеличением числа измерений ( $n > 25$ ) их показатели достоверности сближаются.

Быстродействие оценивается обычно средним временем выполнения всех операций контроля объекта контроля. Это время зависит от многих факторов: числа контролируемых параметров, требуемой точности их определения, быстродействия ЭВМ, параметров измерительных приборов и коммутатора АИС, возможностей интерфейса (его быстродействия) и др.

Среднее время контроля объекта контроля может быть определено по формуле [22]

$$T_k = T_{\text{всп}} + T_{\text{изм}} + T_{\text{инд}}, \quad (1.10)$$

где  $T_{\text{всп}}$  — среднее время, затрачиваемое на вспомогательные операции (подключение к объекту контроля, включение источников электроснабжения);  $T_{\text{изм}}$  — среднее время измерений заданных параметров и характеристик объекта контроля;  $T_{\text{инд}}$  — среднее время анализа и отражения результатов контроля на индикаторе (цифропечатающем устройстве).

Для встроенных в объект контроля АИС составляющая  $T_{\text{всп}}$  во много раз меньше соответствующего значения для внешней (автономной) АИС. Встроенные АИС имеют и значительно меньшее значение  $T_{\text{изм}}$ , так как обычно измеряют меньшее число параметров. Но исходя из этого не следует делать вывод о преимуществах встроенных АИС по сравнению с автономными. При сравнении различных видов АИС следует пользоваться всеми показателями качества АИС (достоверность контроля, быстродействие, глубина контроля, безотказность и др.).

Например, универсальные АИС по существу являются многопроцессорными системами (в каждом или большинстве приборов-модулей имеется микропроцессор), что позволяет использовать при управлении и обработке результатов измерений не только возможности входящей в состав АИС ЭВМ, но в определенной мере и возможности каждого встроенного в приборы микропроцессора. И это далеко не единственное преимущество многопроцессорных систем.

Производительность АИС в целом и каждого измерительного канала в отдельности обеспечивается техническими характеристиками комплектующих элементов и программным обеспечением. В общем случае алгоритмы контроля и соответствующие программы, разрабатываемые для измерительных каналов АИС специалистами, неодинаковы по структуре и отражают опыт и способности того или иного специалиста. Это характерно для программного обеспечения любых технических систем, создаваемых на основе ЭВМ. Однако в АИС имеется общее для всех измерительных каналов средство — КОП, технические характеристики которого определяют верхний предел производительности каждого отдельного канала в АИС в целом. В соответствии с техническими характеристиками на КОП, приведенными в ГОСТ 26.003—80, максимальная производительность приборно-модульных АИС ограничена следующими значениями:

максимальной скоростью обмена  $2,5 \cdot 10^5$  байт/с при протяженности КОП до 20 м, если через каждые 2 м имеется эквивалентная стандартная нагрузка, поддерживающая интерфейс КОП, и используется возбудитель с открытым коллектором с током не менее 48 мА;

максимальной скоростью обмена  $5 \cdot 10^5$  байт/с, если через каждые 2 м имеется эквивалентная стандартная нагрузка и используется возбудитель на три состояния с током не менее 48 мА;

максимальной скоростью обмена  $1 \cdot 10^6$  байт/с, если расстояние между нагрузками не превышает 1 м и используется возбудитель на три состояния с током не менее 48 мА.

Достижение максимальных скоростей обмена данными обеспечивается при наличии в устройствах, подключаемых к КОП, буферных накопителей байта сообщений.

Выпускаемые в настоящее время интерфейсные СИ имеют обычно существенно более низкую скорость измерений, и пропускная способность КОП не сдерживает скорость обмена данными (байтами измерительных сообщений). Поэтому интерфейс КОП обеспечивает работу создаваемых АИС с высокой производительностью.

Наибольшие ограничения интерфейс КОП накладывает на максимальное число подключаемых устройств — 15 и на суммарную длину магистрали КОП — до 20 м. В практике создания АИС эти ограничения легко преодолеваются.

Быстродействие АИС определяется не только возможностями интерфейса и ЭВМ. Большое значение имеет быстродействие входящих в АИС приборов-модулей, а также коммутирующих устройств, часто содержащих цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи.

В универсальных АИС целесообразно применять приборы-модули с встроенными микропроцессорами, т. е. по существу цифровые приборы. Эти приборы, как правило, наиболее приспособлены к удовлетворению требований по достоверности, быстродействию, помехозащищенности, ширине динамического диапазона измерений, высокому (по сравнению с аналоговыми приборами) уровню безотказности, возможности проводить первичную обработку информации (линеаризация функции преобразования, коррекция основной и дополнительной составляющих погрешности) и др. В сравнении с аналоговыми приборами быстродействие цифровых СИ при адекватной точности измерений является более высоким (рис. 1.6), за исключением области очень высокого быстродействия. Увеличение быстродействия (вправо от точки  $k$  на рис. 1.6) возможно только за счет уменьшения числа ступеней квантования (увеличения длительности цикла дискретизации), т. е. уменьшения числа электронных ключей, каждый из которых обладает определенной инерционностью. Очевидно, погрешность квантования при уменьшении числа ступеней квантования увеличивается. Совершенствование

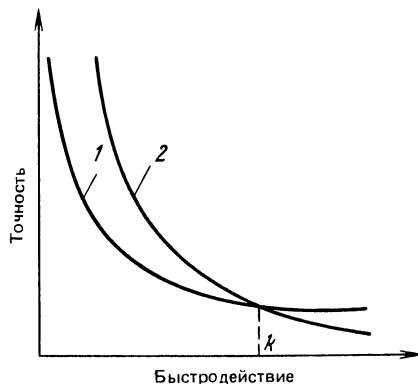


Рис. 1.6. Сравнение аналоговых (1) и цифровых (2) средств измерений по точности и быстродействию

микросхем, используемых в электронных ключах, со временем позволит существенно ослабить указанные ограничения.

Показатель полноты контроля (иногда его называют глубиной контроля) определяет число элементов (узлов) объекта контроля, охваченных контролем. Поскольку состояние каждого элемента (узла) объекта контроля отражается значениями его параметров, в ряде случаев удобно применять простой показатель полноты контроля

$$K_n = \sum_{i=1}^{N_k} n_{ki} / \sum_{i=1}^{N_k} n_{oi}, \quad (1.11)$$

где  $n_{ki}$  — число контролируемых параметров в  $i$ -м элементе (узле);  $n_{oi}$  — общее число параметров, подлежащих контролю в  $i$ -м элементе (узле);  $N_k$  — число контролируемых элементов (узлов). Этот показатель учитывает не только число контролируемых элементов (узлов), но и полноту охвата контролем каждого элемента (узла), поскольку количество подлежащих контролю параметров и реально контролируемых параметров в том или ином элементе (узле) может не совпадать (далеко не всегда удается осуществить измерения всех параметров, которые при анализе или испытаниях объекта контроля относятся к категории подлежащих контролю).

Иногда применяются чисто информационные показатели полноты контроля [22], но они являются, в общем, столь же формальными, как и (1.11). Дело в том, что не только количество информации, полученной при контроле объекта, является объективной характеристикой достигнутой полноты контроля. Исправность сложных объектов контроля, представляющих систему функционально связанных элементов, узлов, блоков, может характеризоваться сравнительно небольшим числом так называемых интегральных параметров. Эти параметры обычно однозначно определяют исправность или неисправность не только данного элемента (узла), но и других элементов (узлов), функционально связанных с ним. Ряд других элементов объекта контроля, не связанных функционально, требуют контроля параметров каждого из них.

Надежность представляет собой одно из важнейших свойств, характеризующих способность АИС функционировать с сохранением метрологических и других показателей в заданных пределах и режимах работы. Обычно надежность АИС, как всякого сложного технического устройства, определяется показателями безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. В качестве показателей безотказности в измерительной технике применяют среднюю наработку на отказ (среднее значение наработки СИ между отказами) или вероятность безотказной работы за установленный промежуток времени. Последний показатель чаще применяют в СИ электрических и теплотехнических величин. Он менее удобен для использования в АИС, так как агрегируемые компоненты АИС (приборы-модули, ЭВМ, источники питания, коммутаторы, цифропечатающие

устройства и др.), изготавливаемые предприятиями различных ведомств, как правило, имеют вероятность безотказной работы  $p(t)$ , рассчитанную для неодинаковых значений времени работы  $t$ .

Поскольку в документации не указывается закон распределения времени безотказной работы «комплектующих» компонентов, провести расчет показателя  $p(t)$  для АИС в целом представляется затруднительным. Обычно задается общее время  $t_0$ , в течение которого должны безотказно функционировать все компоненты АИС. В документации указаны значения  $p(t)$  для различных промежутков  $t$ . При этом различные законы распределения времени безотказной работы (например, нормальный и экспоненциальный) при одном и том же  $t$  дают различные значения  $p(t)$ . В документации на радиоизмерительные приборы-модули, являющиеся основными компонентами АИС, в качестве показателя безотказности указывается средняя наработка на отказ.

Для некоторых видов СИ в технической документации указывается и показатель метрологической надежности (точнее, метрологической безотказности) в виде вероятности скрытых, неявных отказов за межповерочный интервал (заданный промежуток времени между двумя очередными поверками СИ) при определенном значении коэффициента использования СИ. Практически значения показателей безотказности и метрологической надежности однозначно коррелированы (во всех случаях более высокие значения средней наработки на отказ соответствуют более высоким значениям показателей метрологической надежности и наоборот).

В качестве показателей долговечности СИ принимают гамма-процентный ресурс (наработка, при которой СИ не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$  процентов) или средний срок службы (календарная продолжительность эксплуатации прибора до предельного состояния), иногда гамма-процентный срок службы. Предельное состояние наступает в том случае, когда обычные виды восстановления не приводят к поддержанию работоспособности прибора на требуемом уровне. Часто в документации на СИ указывают оба показателя долговечности, поскольку гамма-процентный ресурс определяется наработкой прибора независимо от календарного времени эксплуатации, а срок службы — календарным временем эксплуатации независимо от наработки.

До поступления в эксплуатацию СИ могут длительное время находиться на хранении. В связи с этим обычно указывается максимальный срок нахождения СИ на хранении в тех или иных условиях, в течение которого гарантируется безотказность прибора.

Для АИС требуются приборы-модули с высокими показателями безотказности (по показателю средней наработки на отказ до  $10^4$  ч). В настоящее время указанный показатель для приборов со встроенными микропроцессорами, совместимыми с КОП, меньше требуемого в среднем более чем в 2 раза.

Высокие требования к безотказности объясняются следующим. Достоверность результатов контроля определяется не только достигнутой точностью измерений параметров контролируемого объекта, но и стабильностью показателей точности в процессе эксплуатации АИС (т. е. вероятности ложного и необнаруженного отказов длительное время не увеличиваются, во всяком случае, в течение межповерочных интервалов СИ). При этом межповерочные интервалы входящих в состав универсальной АИС приборов-модулей с увеличением значений показателей безотказности растут. Достижение средней наработки на отказ каждого из компонентов АИС не менее  $10^4$  ч позволило бы обеспечить значение аналогичного показателя АИС средней сложности около  $10^3$  ч, что гарантировало бы потребителям АИС высокую достоверность контроля технических объектов и не требовало бы больших затрат на эксплуатацию АИС.

Рассматривая основные показатели эффективности АИС, можно сделать вывод, что не существует непреодолимых трудностей в обеспечении высоких показателей точности измерений, достоверности и быстродействия контроля. В то же время стоимость затрат на производство, испытания и эксплуатацию АИС, как правило, меньше аналогичных затрат для специализированных (индивидуальных) АСК. Сроки на разработку универсальных АИС также меньше, чем на разработку индивидуальных, так как отпадает необходимость в создании большинства «комплектующих» компонентов. Высококачественная измерительная информация,

Таблица 1.1

**Ранжировка показателей эффективности измерительной техники**

Показатель эффективности	АИС	Средства измерений общего применения	Специальные средства измерений	АСК
1	2	3	4	5
Точность измерений	1	2	3	4
Достоверность контроля	1	2	4	3
Производительность	2	4	3	1
Надежность	2	1	1	3
Ремонтопригодность	1	1	2	2
Приспособленность к поверке	1	1	2	3
Готовность к работе	4	3	1	2
Приспособленность к модернизации	1	2	4	3
Масса и габариты	4	3	1	2
Возможности документирования результатов контроля	1	3	4	1
Стоимость	3	1	2	4

Таблица 1.2

**Предпочтительные области использования измерительной техники**

Область применения измерительной техники	АИС	Средства измерений общего применения	Специальные средства измерений	АСК
Производство ОК	1	2	3	2
Испытания ОК	1	2	3	2
Техническое обслуживание большой периодичности	1	2	3	1
Оперативное обслуживание	3	4	1	1
Контроль в процессе применения	4	3	2	1
Поверка средств измерений	1	2	3	4

получаемая в универсальных АИС с помощью СИ общего применения, широкие возможности по реализации сложных алгоритмов обработки позволяют не только контролировать, но и прогнозировать уход контролируемых параметров во время эксплуатации объектов контроля. Только в этом случае обеспечивается проведение мероприятий по техническому обслуживанию не по календарным срокам, а по реальному состоянию. Кроме того, АИС не имеют принципиальных трудностей в поверке их метрологических характеристик, а также реализуют автоматический контроль и самодиагностику всех составных частей АИС.

Входящие в АИС приборы можно использовать не только в составе системы, но и автономно. Это позволяет повысить надежность метрологического обеспечения, а также сократить общее число СИ. Оценочные расчеты показывают, что такое сокращение может достигать 20...25% парка СИ, используемых для технического обслуживания сложных ОК. Изначальная функциональная избыточность АИС позволяет ориентировать одну и ту же систему на большое число ОК различных типов, уменьшая тем самым суммарные массогабаритные характеристики систем контроля. В целом АИС с интерфейсом по ГОСТ 26.003—80 обладают достаточно высокими характеристиками для их успешного

использования в интересах контроля, диагностирования технического состояния широкого класса сложных ОК.

В табл. 1.1 приведены коэффициенты ранжировки показателей эффективности для четырех видов измерительной техники, табл. 1.2 результаты ранжировки измерительной техники по возможным областям ее использования. Анализ этих данных показывает, что АИС предпочтительнее других видов измерительной техники при решении задач контроля в процессе производства, испытаний, технического обслуживания ОК и поверки СИ.

## Глава 2

# Совместимость средств приборно-модульных АИС

## 2.1. Виды и условия совместимости

Эффективность разработки, производства и эксплуатации приборно-модульных АИС в значительной степени зависит от совместимости СИ, СВТ и вспомогательных устройств (ВУ)—составных модулей этих систем. На этапе разработки, например, ввиду отсутствия необходимости проектирования всевозможных устройств сопряжения сокращаются сроки исполнения заказов и затраты на них. На этапе производства повышаются показатели технологичности, упрощается отладка оборудования и снижаются требования к квалификации инженерно-технического персонала. Наиболее существен эффект от совместимости в сфере эксплуатации: уменьшаются поток отказов и время простоя АИС, необходимое для поверки и ремонта; реализуется принцип мобильности, т. е. возможность модернизации АИС в ходе эксплуатации при изменении допусков и перечня параметров исследуемого объекта [42].

Совместимость модулей означает их приспособленность к согласованной совместной работе в предусмотренных сочетаниях. В научно-технической и нормативной литературе [15, 38, 42, 52] достаточно подробно изучены следующие виды совместимости: функциональная, информационная, электрическая, программная, энергетическая, конструктивная, метрологическая и эксплуатационная. Рассмотрим их в приложении к приборно-модульным АИС.

Функциональная совместимость определяется совокупностью двух групп требований. Во-первых, модули должны быть функционально законченными и автономными устройствами (иметь все виды дополнительного энергопитания, тактирующих сигналов и т. д.). Это условие гарантируется выбранным принципом построения АИС—из СИ, ВУ и СВТ общего применения. Во-вторых, набор модулей должен обеспечивать выполнение всех функций, связанных с измерениями,—от непосредственного восприятия изучаемой характеристики до представления выводов потребителю в необходимом виде. По отношению к приборно-модульным АИС функциональная совместимость в основном определяет требования к номенклатуре или, что то же самое, к типу модулей. Именно поэтому в их состав входят не только измерительные приборы, но и ЭВМ, средства отображения, хранения, документирования, ввода и вывода информации, пакеты прикладных программ, коммутаторы, источники питания, аппаратура передачи данных, наборы универсальных адаптеров для обеспечения согласованной работы устройств с различными типами дистанционного управления и ряд других технических и программных средств.

Информационная совместимость заключается в соблюдении единых форм представления данных по входам и выходам сопрягаемых модулей и единых алгоритмов обмена данными между ними. Под входами и выходами понимаются наборы специальных (не измерительных или функциональных) сигналов, с помощью которых возможно дистанционное управление режимами работы приборов и устройств, а также получение информации об их состоянии или выполненной

работе. Довольно часто на лицевой или задней панели средства измерения (ЧЗ-54, Ш68003, В7-34 и др.) расположены разъемы с надписями «Выход на регистрирующее устройство», «Дистанционное управление» или сокращенные и производные от перечисленных, например «ДУ», «РУ», «Цифропечать», «ЭВМ», «ЛКП», «КОП» и т. д. Требования информационной совместимости распространяются именно на эти входы и выходы модулей.

Единство форм представляемых данных обеспечивается выбором физической природы сигналов: электрические, пневматические, гидравлические, оптические и др. Рассматривая приборно-модульные системы, имеет смысл говорить только об электрической природе управляющих сигналов, требования к которым формулируются в рамках электрической совместимости и устанавливают уровни напряжений, нагрузочные способности линий, средства и способы обеспечения помехоустойчивости и др.

Для достижения единства алгоритмов обмена данными между модулями нормируются назначение и число линий, виды и параметры сигналов обмена, временные и логические соотношения между ними. Этим обеспечиваются согласованная передача и прием единиц и групп сообщений (данных), например побайтно, побитно, а также режимы установления сеансов связи между модулями. Вопросы упорядочивания единиц сообщений (форматирования) составляют предмет унификации в рамках программной совместимости.

Таким образом, информационная совместимость неразрывно связана с электрической и программной и часто именуется стандартным сечением. Если требования программной совместимости отсутствуют, то вместо сечения используется термин «стык».

Под энергетической совместимостью понимаются требования к виду и параметрам питающих напряжений, например: сетевое напряжение  $(220 \pm 22)$  В частотой  $(50 \pm 0,5)$  Гц,  $(115 \pm 11,5)$  В частотой  $(400 \pm 4)$  Гц, батарейное напряжение постоянного тока  $(27 \pm 3)$  В и т. д. Вопросы энергетической совместимости наиболее важны для АИС, построенных из функциональных блоков или плат (КАМАК [38], КАСАК [42] и др.). Приборно-модульные системы обычно априори отвечают требованиям по унификации питающих напряжений.

Конструктивная совместимость — это возможность быстрой компоновки модулей в единый конструктивно законченный комплекс с высокими показателями эргономики и технической эстетики. Для этого необходимо иметь одинаковые габаритные и присоединительные размеры составных элементов АИС, начиная от плат, из которых собираются модули, и кончая шкафами и стойками. Для обеспечения конструктивной совместимости необходимы специальные приспособления: кронштейны, направляющие каркасы и т. д.

К числу важнейших аспектов конструктивной совместимости относятся требования к типу разъемов и соответствию контактов в них информационным линиям, а также соединительному кабелю. В отдельных случаях нормируется только эта составляющая конструктивной совместимости.

Метрологическая совместимость необходима для применения предусмотренных в нормативных документах (ГОСТ, ОСТ и др.) методов расчета метрологических характеристик модулей. Ряд таких методов подробно рассмотрен в гл. 5.

Эксплуатационная совместимость модулей АИС означает единые группы исполнения по условиям эксплуатации; единые требования по хранению, транспортировке, гарантиям изготовителя; единые показатели надежности; единые требования по уровням электромагнитных помех и др.

Кроме перечисленных в литературе применяются и другие термины, например надежность совместимости, электромагнитная совместимость. Существо терминов совместимости заключается не в названиях, а в установлении норм на параметры и характеристики модулей АИС с целью максимального упрощения процессов агрегатирования.

Отсутствие того или иного вида совместимости у групп объединяемых в систему блоков отнюдь не означает невозможность агрегатирования. Это означает увеличение затрат, ухудшение качества. Однако создавать АИС все равно целесообразно, так как ожидание реализации всех видов совместимости приведет к неизмеримо большим потерям в целом.



Простота агрегатирования обычно достигается с помощью серийного освоения комплексов технических средств. Например, при проектировании АСЭТ—агрегатных средств электроизмерительной техники—нормируется конструктивная, метрологическая, совместимость отдельных элементов эксплуатационной и информационной совместимости; ЕАКАСИТ—единого агрегатного комплекса автоматизированных средств измерительной техники—конструктивная, метрологическая, эксплуатационная, энергетическая, информационная, электрическая совместимость; КАСАК—комплекса агрегатных средств автоматизированного контроля—все виды совместимости, в том числе функциональная и программная.

## 2.2. Назначение, классификация и варианты применения интерфейсов

Применительно к АИС интерфейс—это совокупность правил и технических средств, обеспечивающих возможность дистанционного управления режимами работы модулей, а также приема и передачи измерительной и функциональной информации. Обычно технические средства интерфейса встроены в приборы, а правила приведены в техническом описании. Например, в электронно-счетном частотомере ЧЗ-54 предусмотрены специальные схемы, реализующие алгоритмы цифрового управления, а также входные и выходные разъемы, вынесенные на заднюю панель. Если необходимо дистанционно переключить предел измерений или род работы, то на соответствующие контакты входного разъема требуется подать уровни 2...5 и 0...0,8 В. Если необходимо прочитать результат измерений, то те же уровни нужно снять с выходного разъема и преобразовать в обычные десятичные числа по известным правилам. Соответствие номеров контактов на выходных и входных разъемах режимам работы и данным об измерениях приведено в техническом описании устройства.

Таким образом, интерфейс прибора ЧЗ-54 регламентирует его информационную, электрическую, программную и конструктивную (в части разъемов) совместимость с другими модулями АИС. Если, например, АИС должна состоять только из прибора ЧЗ-54 и печатающего устройства Щ68000 К, то достаточно лишь соединить их кабелем. Все результаты измерений будут непрерывно документироваться. Это обусловлено соответствием интерфейса выдачи результатов в приборе ЧЗ-54 и интерфейса приема результатов в устройстве Щ68000 К, который получил название «8-4-2-1». Однако если в АИС требуется изменить режим работы этого частотомера по заранее заданной программе, то к его входному разъему следует подключить контроллер или ЭВМ. Существующий парк ЭВМ не имеет встроенных технических средств, совместимых с входным интерфейсом прибора ЧЗ-54. Поэтому необходим специальный адаптер (рис. 2.1). Очевидно, что сопряжение ЧЗ-54 и Щ68000 К значительно проще, чем ЧЗ-54 и ЭВМ.

Основным назначением интерфейса является не столько возможность дистанционного управления и приема-передачи информации, сколько единство и унификация правил и технических средств для этого. На практике используется и имеет смысл только термин «стандартный интерфейс» или «стандарт на интерфейс» [35, 38, 52], под которым понимается совокупность унифицированных

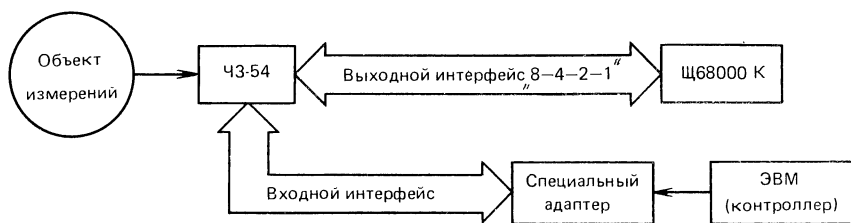


Рис. 2.1. Пример АИС на основе интерфейса частотомера ЧЗ-54

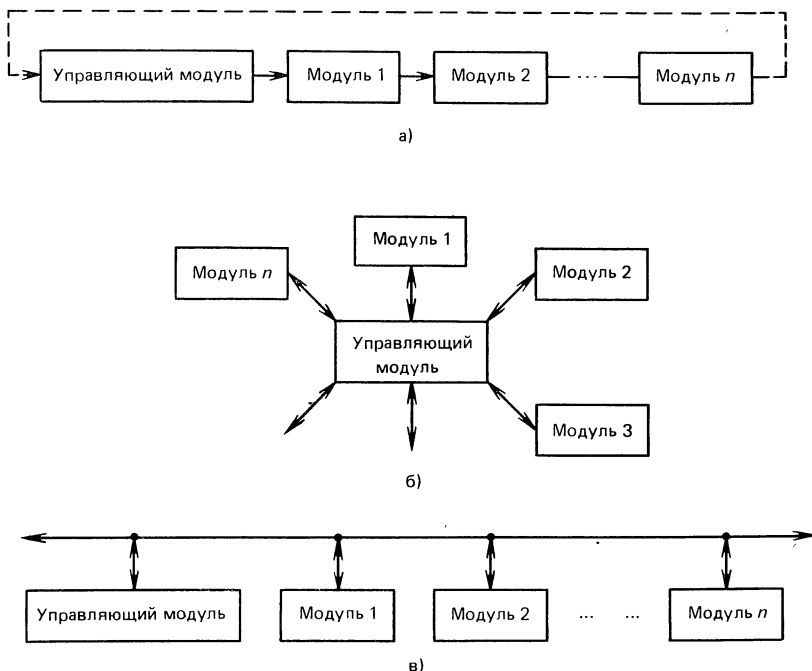


Рис. 2.2. Способы соединения модулей в различных интерфейсах:

а — цепочный, б — радиальный; в — магистральный

аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритма взаимодействия модулей в различных АИС при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение информационной, программной, электрической и конструктивной совместимости модулей. Стандартный интерфейс — это средство, обеспечивающее сопряжение СИ, ВУ и СВТ в АИС без специальных адаптеров, переходных элементов, драйверов (программ связи ЭВМ с внешними устройствами ввода-вывода) и т. д.

Виды стандартных интерфейсов определяются в соответствии со следующими основными классификационными признаками: способом соединения модулей; способом передачи информации; принципом обмена информацией; режимом передачи информации.

В наибольшей степени финальные характеристики интерфейсов зависят от способа соединения модулей, который может быть цепочным, радиальным или магистральным [35, 52] (рис. 2.2). Например, максимальное быстродействие достигается при использовании радиальных интерфейсов, однако при этом возникает и максимальная конструктивная избыточность. Избыточность обусловлена наличием индивидуальных информационных линий для каждого модуля, а быстродействие — отсутствием необходимости адресации модулей и идентификации модулей, требующих обслуживания. Примеры радиальных интерфейсов: ИРПС (RS-232C) [35, 37], ИРПР (BS-4421) [4, 35], 8-4-2-1 и др.

Минимумом энергопотребления, но и минимумом производительности характеризуется цепочный интерфейс. Его область применения — автономные малогабаритные приборы и устройства с батарейным питанием. Наиболее известные цепочные интерфейсы: HP-IL [35, 55] и IMS-1 [38].

Магистральные интерфейсы по финальным характеристикам занимают промежуточное положение между цепочными и радиальными. Это в определенной

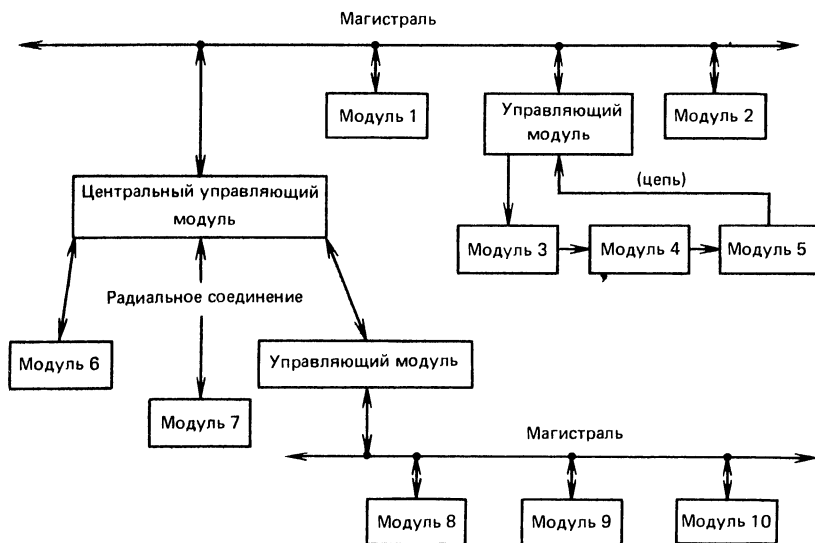


Рис. 2.3. Пример АИС с гибридным способом соединения модулей

степени гарантирует их универсальность, а значит, и наиболее широкое распространение. Список магистральных интерфейсов, используемых в автоматизированных системах, достаточно велик, например: КОП (IEEE-488), МПИ (Q-bus) [37], ОШ (Unibus) [47], И41 (Multibus-1) [37], VME-bus [19] и др.

В ряде прикладных АИС реализован гибридный способ соединения модулей, основанный на совместном использовании нескольких видов интерфейсов (рис. 2.3). Это обусловлено необходимостью повышения производительности отдельных подсистем, уменьшением конструктивной и энергетической избыточности, алгоритмом работы приборов. Стандартизация и унификация гибридных способов соединения модулей предусмотрена в нескольких известных интерфейсах, а правильное — в системах интерфейсов, таких как КАМАК [38], Multibus-2 [53]. Популярность последнего в различных технических приложениях — от систем ЭВМ до АИС постоянно растет.

Из оставшихся трех классификационных признаков необходимо отдельно рассмотреть только принцип обмена информацией, так как способ передачи — параллельный, последовательный или параллельно-последовательный и режим передачи — односторонний (симплексный) двусторонний одновременный (дуплексный) или двусторонний поочередный (полудуплексный) влияют только на число информационных линий в интерфейсе. Например, 8 двунаправленных линий — это параллельно-последовательный (бит-параллельно, байт-последовательно) полудуплексный интерфейс; 64 однонаправленные линии — параллельный симплексный интерфейс; 2 однонаправленные линии — последовательный дуплексный интерфейс и т. д.

В зависимости от принципа обмена информацией, будь это байт, бит, слово или любая другая единица данных, интерфейсы подразделяются на синхронные и асинхронные. В случае синхронной передачи устройство-источник информации определяет темп выдачи единиц сообщений. Для этого обычно используются синхриимпульсы, которые могут передаваться как по отдельным, так и непосредственно по информационным линиям. Синхронный принцип обмена позволяет достичь наивысших показателей быстродействия, особенно при передачах на большие расстояния. Все приемники должны иметь быстродействие не ниже источника, что не всегда целесообразно и достижимо в практических приложениях.

Таблица 2.1

## Основные характеристики стандартных интерфейсов для АИС

Характеристика	КОП	ИРПС	НР-IL	8-4-2-1
1	2	3	4	5
Способ соединения модулей	Магистральный	Радиальный	Цепочечный	Радиальный
Способ передачи информации	Параллельно-последовательный	Последовательный	Последовательный	Параллельный
Принцип обмена информацией	Асинхронный	Синхронный	Асинхронный	Асинхронный
Режим передачи информации	Двусторонний поочередный	Двусторонний поочередный	Односторонний (по замкнутому контуру)	Односторонний
Максимально возможное быстродействие	1 Мбайт/с	Ограничено аппаратурой передачи данных	20 кбайт/с	Ограничено аппаратурой передачи данных
Число линий	16	1	1	66
Максимальное расстояние между модулями, м	4	500	10	4
Максимально допустимое число модулей	15	2	992	2

Более универсальным, но с худшими характеристиками производительности является асинхронный способ передачи информации. В этом случае наличие дополнительных управляющих сигналов, передаваемых по специальным линиям, становится необходимым. Управляющие сигналы инициируются и источниками, и приемниками независимо друг от друга по мере готовности либо к приему, либо к выдаче, либо к завершению цикла обмена, либо к другим этапам процесса приема-передачи. В рамках асинхронных интерфейсов допустимы широкий диапазон быстродействия модулей и более высокая степень достоверности передачи информации. В большинстве стандартных интерфейсов реализован асинхронный принцип обмена данными.

Кроме перечисленных четырех классификационных признаков стандартных интерфейсов автоматизированных систем можно выделить еще целую гамму параметров. Например, в [17] таких признаков более 20. Их подробный анализ приведен в ряде уже упомянутых трудов и в основном касается вычислительных систем различного назначения.

Для приборно-модульных АИС из множества существующих интерфейсов используется всего лишь несколько, а именно КОП, ИРПС, НР-IL, 8-4-2-1 (табл. 2.1).

Наиболее популярен и широко используется интерфейс КОП. Встроенные средства для его поддержки имеются во многих серийно выпускаемых измерительных приборах, СВТ и ВУ (см. гл. 3 и 4), в том числе в коммутаторах, печатающих устройствах, ЭВМ и т. д. Функциональная совместимость этих модулей предопределяет возможность построения АИС на основе интерфейса КОП для различных технических приложений.

Интерфейс радиальный последовательный (ИРПС) применяется для подключения к АИС, СВТ и СИ, находящихся, как правило, на значительном расстоянии от управляющей ЭВМ.

Интерфейс HP-IL наиболее удобен для малогабаритных полевых или автономных систем. По функциональным возможностям он почти адекватен интерфейсу HP-IB (КОП) и отличается минимально возможным уровнем энергопотребления, так как выход любого модуля нагружен только одним входом другого модуля.

Интерфейс 8-4-2-1 используется лишь в простейших системах, состоящих из двух модулей — измерительного прибора и печатающего устройства, на котором документируются результаты исследований объекта.

В ближайшей перспективе следует ожидать применения других интерфейсов, прежде всего VXI-bus [57], который разработан для одноплатных приборов и программно совместим с КОП, шиной PC AT (ISA), EISA и др. Однако автоматизация измерений сегодня и в ближайшие 15—20 лет наряду с новыми и другими интерфейсами будет неразрывно связана и с интерфейсом КОП ввиду эксплуатации большого числа приборов, его поддерживающих.

## **2.3. Стандартный интерфейс для приборно-модульных АИС**

### **2.3.1. Технические характеристики интерфейса КОП**

Интерфейс КОП предназначен для объединения в АИС, как правило, функционально и конструктивно законченных технических устройств, которые могут применяться и автономно. Если в других интерфейсах, например, какая-нибудь плата или блок создаются в стандарте КАМАК или в стандарте Multibus, то в данном случае интерфейсные узлы являются вспомогательной, можно сказать, второстепенной частью модулей и встраиваются в приборы в основном для дублирования ручного управления, а также для съема результатов измерений в цифровой форме. Это принципиальное отличие интерфейса КОП от других интерфейсов.

**Стандартизация.** Для построения АИС из СИ, ВУ и СВТ фирмой Hewlett-Packard (США) в 1972 г. был разработан специальный интерфейс HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus). Его реклама, сопровождаемая выпуском измерительной и вычислительной техники, поддерживающей этот интерфейс, а также оригинальность решений обусловили быстрое внедрение приборно-модульных АИС в различных областях науки и техники и принятие интерфейса в качестве международного стандарта. В 1975 г. HP-IB был одобрен советом IEEE (IEEE-488-1975). В 1976 г. ТК66 МЭК (Международная электротехническая комиссия) утвердил интерфейс HP-IB в ранге международного — IEC recommendation 625-1 (МЭК625-1). В дальнейшем интерфейс HP-IB был стандартизован во многих странах, например ANSI/IEEE-488-1978 (ANST Standard MC1.1) в США; DIN IEC 66.22-1976 в ФРГ; IMS-2-1976 (СТ СЭВ 2740-80) — в странах Восточной Европы.

В 1980 г. в СССР также был введен соответствующий HP-IB ГОСТ 26.003—80. Русская транскрипция этого интерфейса — КОП (канал общего пользования). В некоторых измерительных приборах и ЭВМ, разработки которых закончились до 1981 г., применяются иные аббревиатуры — ЛКП (линия коллективного пользования) или ККП (канал коллективного пользования).

Обобщив 15-летний опыт применения HP-IB, фирма Hewlett-Packard в июне 1987 г. ввела в действие дополнение к стандарту IEEE-488-1978, в котором обеспечена полная совместимость со старыми требованиями и регламентированы новые нормативы к кодированию и форматированию сообщений, а также расширена их номенклатура. В настоящее время стандарт IEEE-488-1978 имеет номер IEEE-488.1, а дополнение IEEE-488.2. Целью внедрения новых требований к программной совместимости модулей АИС была необходимость упрощения процедур создания систем, сокращения сроков их разработки и согласования с интерфейсами RS-232, VME-bus (VXI-bus) и мощными средствами программного обеспечения, ориентированного на диагностику, контроль и измерения параметров различных технических объектов.

**Конструкция.** Конструктивно интерфейс КОП состоит из двух компонентов: средств поддержки, встроенных в модули АИС, и кабелей. Концы каждого кабеля оборудованы разъемами РПМ7-24, состоящими из жестко скрепленных вилки и розетки. Каждый модуль имеет розетку РПМ7-24Г-ПБ. Этим достигается исключительная простота механического объединения модулей в АИС. На розетке любого прибора разъемы кабелей могут наращиваться (устанавливаться один в другой), чем обеспечивается сборка систем произвольной конфигурации по желанию пользователя (звезда, кольцо, цепь и т. д.). Однако, как бы не были механически соединены модули, принятая в интерфейсе КОП конструкция обеспечивает образование общей магистрали, т. е. магистральный способ соединения приборов АИС. Неправильных сборок в рамках интерфейса КОП не бывает. По сравнению с иными магистральными интерфейсами здесь не требуется изготовления кроссировочных конструкций, травления контактных вилок на платах для установки в разъемы и других сложных работ. Доступность для любого пользователя и простота сборки АИС на основе интерфейса КОП очевидны.

В интерфейсе КОП используется всего 16 информационных линий, а общее число линий — 24. В связи с этим и разъем, и кабель имеют малые габариты, что также удобно пользователю. Из всех стандартных магистральных интерфейсов с параллельно-последовательной передачей данных интерфейс КОП характеризуется наименьшим числом как общих, так и информационных линий.

Недостатком конструкции является невысокая надежность разъема РПМ7-24. Любая неаккуратность при стыковке вилки и розетки вызывает изгибы контактных лепестков разъема, что в конечном счете приводит к их поломке и непригодности к дальнейшему использованию. Поэтому пользователям приборно-модульных АИС необходимо заботиться о предельной аккуратности при стыковках и расстыковках разъемов КОП.

**Быстродействие.** Нормативно быстродействие интерфейса КОП ограничено сверху цифрой 1 Мбайт/с. Это обусловлено алгоритмом обмена данными и электрическими параметрами кабеля, приемников и возбuditелей сигналов в линиях. Однако реально достигнутое быстродействие 50...100 Кбайт/с. Таким образом, для работ по повышению скорости обмена между модулями АИС через интерфейс КОП имеется достаточно большой запас. Большинство модулей АИС — это средства измерений, которые по своим функциональным особенностям относятся к медленным устройствам, причем чем прецизионнее прибор, тем дольше время, необходимое для измерений. В ряде случаев оно исчисляется секундами и даже минутами. Поэтому мгновенными, затрачиваемыми на прием и передачу цифровых данных (пусть даже сотен байтов), можно пренебречь.

О потенциальных возможностях быстродействия интерфейса КОП говорит факт наличия ряда персональных ЭВМ, у которых в качестве системной магистрали применен интерфейс HP-IB, например GRID1107, GRID1109, Pet, Commodore 64. Именно по ней осуществляется обмен данными с дисплеем, дисковыми, принтером. Кроме того, фирмой Hewlett-Packard с интерфейсом HP-IB выпускаются, например, накопители на жестких, винчестерских и гибких магнитных дисках емкостью до 571 Мбайт (модели HP7935H, HP7946A, EP7958A, HP7937A и др.), что также косвенно свидетельствует о высоких скоростных возможностях КОП.

В КОП принят асинхронный способ обмена информацией, причем в отличие от других асинхронных интерфейсов в нем не нормируется время ожидания всех видов готовности. Это позволяет использовать в АИС приборы и устройства с самыми различными параметрами быстродействия.

**Живучесть.** Как и в большинстве магистральных интерфейсов, к шине КОП могут быть подсоединены модули с отключенным электропитанием (число таких устройств не должно превышать 1/3 общего количества). Следовательно, во-первых, выход из строя одного или нескольких приборов не означает потерю работоспособности АИС, а, во-вторых, это позволяет экономить технический ресурс модулей, так как при переходе от объекта к объекту (с учетом многоцелевого применения АИС) неиспользуемые СИ и ВУ можно отключить.

Данное свойство интерфейса КОП конечно не означает, что разрешается в любое время включать-выключать питание части приборов. Неизбежно

возникающие при этом скачки токов и напряжений, обусловленные переходными процессами, могут повлиять на нормальное функционирование системы в целом. Однако потенциально данная характеристика, безусловно, повышает живучесть АИС, создаваемых на основе интерфейса КОП.

**Работа в реальном масштабе времени.** Любому модулю из состава АИС на основе интерфейса КОП разрешено посылать запрос на обслуживание в любой момент асинхронно с нормальным алгоритмом работы. Причиной запроса может быть, например, готовность выдать результаты измерений, перегрузки в измерительных цепях или сбой функционирования. За время, определяемое быстродействием ЭВМ или контроллера, запрос будет обнаружен, затем идентифицируется модуль, требующий обслуживания, и принимаются конкретные меры в соответствии с алгоритмом работы АИС или правилами, заложенными в операционной системе. Порядок выдачи запросов, их снятия и обработки предусмотрен и регламентирован в стандарте на интерфейс КОП.

Безусловно, система арбитража в интерфейсе КОП уступает по быстродействию практически всем машинным интерфейсам. Однако исходя из основного назначения КОП и того, что время на идентификацию (10...100 мс) значительно превышает быстродействие самих модулей, номенклатуру средств обеспечения работы АИС в реальном масштабе времени, предусмотренных в интерфейсе КОП, следует признать вполне достаточной. Более того, быстродействие арбитража в КОП не является определяющей характеристикой АИС, так как микроЭВМ, встроенные в большинство СИ, способны сами обрабатывать, запоминать и хранить информацию. А для того, чтобы получить эту информацию, не нужен активно развитый быстродействующий арбитраж системной шины.

**Создание локальных сетей.** В интерфейсе КОП предусмотрена возможность создания локальных сетей ЭВМ или многомашинных измерительных комплексов, в том числе с различной иерархической структурой. Достоинствами локальных сетей на основе КОП являются: простота аппаратных и программных средств; высокое быстродействие (до 500 Кбайт/с [26]); возможность передачи управления в системе без потери темпа и информации. Как показано в [9, 35, 36], топология локальных мультисистем на базе нескольких интерфейсов КОП при небольшой избыточности обеспечивает повышение общей скорости передачи данных в системе и ее надежность.

**Связь с приборными функциями.** В отличие от всех стандартных интерфейсов (кроме НР-IL, который почти идентичен НР-IV) в КОП регламентирован ряд специальных функций, необходимых для выполнения измерений в АИС.

Во-первых, это раздельное приведение системы в исходное состояние: по специальным командам в исходное могут быть приведены только интерфейсные узлы модулей, по другим командам — только функциональные или измерительные блоки этих же модулей. Стандартизация правил сброса функциональных и измерительных цепей в исходное состояние обеспечивает кратчайший и эффективный путь борьбы с аварийными режимами, мгновенное приведение АИС к так называемой точке отсчета и т. д.

Во-вторых, в интерфейсе КОП предусмотрена возможность синхронизации работы приборов. Потребность в этом имеется практически в каждой измерительной системе. Такая возможность позволяет одновременно подавать на объект несколько стимулирующих воздействий, начинать измерения синхронно с выдачей сигналов и т. д.

В-третьих, с помощью специальных команд управление модулями от передней панели может быть либо заблокировано, либо наоборот — доступно. Это необходимо для предотвращения несанкционированного доступа оператора к работе АИС, а также для упрощения реализации подстроечных операций.

**Протяженность магистрали.** Общая протяженность линии КОП не должна превышать 20 м, а длина единичного кабеля — 4 м. Несмотря на то, что по сравнению с другими магистральными интерфейсами эти цифры выглядят достаточно внушительно, в ряде случаев в распределенных АИС требуется, чтобы отдельные приборы или подсистемы находились на значительно больших расстояниях, например, от центральной ЭВМ или базовой части АИС. Поэтому в число ВУ для КОП входят повторители шины, которые позволяют ретран-

слировать сигналы интерфейса на сотни метров по коаксиальному или волоконно-оптическому кабелю (модель НР37204 А/В), а также на неограниченное расстояние по телефонным и телеграфным каналам (модель НР37201А). Простые схемотехнические решения подобных повторителей легко могут быть изготовлены пользователем в лабораторных условиях. С учетом таких ВУ ограничений как на протяженность магистрали, так и на длину единичного кабеля в интерфейсе КОП практически не существует.

**Число модулей.** Интерфейс КОП характеризуется тремя цифрами, ограничивающими число модулей в системе: 15, 31 и 992. Они обусловлены как электрическими параметрами приемников и возбуждателей сигналов в линиях, так и логикой адресации. Если не использовать никаких ВУ, то максимальное число модулей в АИС не может превышать 15. Простейшие ВУ увеличивают эту цифру до 31, более сложные ВУ — до 992. Таким образом, так же как и в случае с протяженностью магистрали, применение ВУ позволяет значительно увеличить допустимое число модулей в АИС, а цифра 992 — предел возможного, без сомнения, удовлетворит любого пользователя.

**Наличие интегральных микросхем (ИМС).** Для реализации интерфейса КОП в СИ и ВУ достаточно ИМС КР580ВК91А и двух КР580ВА93 [30]. Их применение наиболее эффективно совместно с микропроцессорами КР580ВМ80А и КМ1810ВМ86, которые достаточно часто используются в СИ и ВУ. Вместо КР580ВА93 могут быть использованы две ИМС К559ИП6. Для встраивания интерфейса КОП в ЭВМ кроме перечисленных микросхем необходима также ИМС КР580ВК92. Таким образом, КОП легко реализуется в любом модуле АИС посредством применения ИМС высокой степени интеграции. Зарубежными аналогами перечисленных выше ИМС являются: 8291, 8292, 8293 (фирма Intel); МС68488, МС6801, МС3447, МС3448 (Motorola), а также ряд других [35].

### 2.3.2. Реализация и работа интерфейса КОП

**Назначение.** Упрощенно основной задачей интерфейса КОП в АИС является управление режимами работы модулей АИС и считывание результатов измерений с целью их последующей обработки и принятия решений. Управление режимами через КОП осуществляется так, как если бы этим прибором управлял оператор с помощью кнопок или переключателей, расположенных на передней панели. Другими словами, каждый орган управления имеет свой код, передача которого по КОП эквивалентна ручному воздействию на этот орган. То же можно сказать и о приеме информации. Это именно те цифры, буквы и символы, которые отображаются на индикаторах приборов, только их видит не оператор, а управляющий модуль (ЭВМ). Каждый символ, отображаемый на индикаторе модуля, имеет соответствующий код, который и поступает через КОП в ЭВМ.

Таким образом, назначением интерфейса КОП в АИС является прием-передача групп кодов или, что то же самое, прием-передача информации от ЭВМ к модулям и наоборот. Как передается и принимается эта информация, как выбирается именно тот прибор, которому предназначена информация, как определяются модули, готовые выдать результаты измерений, и ряд других связанных с этим вопросов — суть правил, регламентирующих использование КОП.

**Порядок работы.** В интерфейсе КОП все модули подключены к общей магистрали. Один из них является управляющим (обычно ЭВМ). Потенциально управляющих модулей может быть несколько, однако в этом случае они поочередно передают друг другу управление магистралью, становясь сами обычными ведомыми приборами и устройствами. Это как раз и означает, что в каждый конкретный момент управляющий модуль в КОП всегда один. По программе, реализующей алгоритм работы АИС, ЭВМ периодически то считывает результаты измерений, выполненных приборами, то передает информацию на переключение режимов работы модулей, то организует обмен между двумя и более устройствами АИС. Другими словами, ЭВМ командует процессами, проходящими в интерфейсе КОП. Она является и приемником информации,



и источником, и контроллером магистрали. Все остальные модули выполняют предписания, исходящие от ЭВМ. В зависимости от алгоритма работы АИС они в тот или иной момент могут быть источниками (передатчиками) или приемниками.

Основной режим функционирования этих модулей (с точки зрения КОП) — постоянное пассивное сканирование всех линий магистрали. Если модуль обнаруживает информацию, которая предназначена для него, то реализованные в нем интерфейсные функции вступают в работу: осуществляется прием информации от ЭВМ или других модулей или передача накопившейся в этом модуле информации в ЭВМ или другие модули. Определить, какому модулю, когда и в какой последовательности становиться активным источником или приемником, от кого получать или кому передавать информацию — «прерогатива» управляющей ЭВМ. Более того, согласно правилам интерфейса приборы и устройства даже «не знают», куда они выдают данные и откуда их получают. В обоих случаях они «общаются» только с магистралью КОП.

Кроме пассивного сканирования модули АИС в любой момент могут послать запрос на обслуживание в управляющую ЭВМ. Это не означает, что ЭВМ немедленно обратится к этому модулю. Может пройти значительное время, может даже отпасть необходимость в запросе, что еще раз подчеркивает единственность «хозяина» в магистрали КОП.

Нормальный порядок работы неуправляющего модуля таков: а) пассивное сканирование; б) обнаружение принадлежащей ему информации, ее прием и расшифровка; в) исполнение полученного задания; г) выдача в магистраль сигнала о завершении работы по предписанной инструкции (запрос на обслуживание); д) пассивное сканирование магистрали до тех пор, пока не будет обнаружена информация в ответ на выставленный запрос; е) передача измеренных или других данных в ЭВМ и возврат к п. а). Так работают все модули (кроме управляющего), чем достигается согласованность их действий в АИС.

**Линии и схемы их включения.** Все линии КОП являются двунаправленными. Важнейшее условие работоспособности АИС заключается в строгом соответствии модулей требованиям электрической совместимости [12]. Среди них основным считается нагрузочная способность возбудителей линий: выходное напряжение  $U \leq 0,5$  В при токе  $I \leq 48$  мА. Это позволяет параллельно подключить к каждой линии до 15 схем, показанных на рис. 2.4, т. е. число модулей в АИС не должно превышать 15. Однако существуют достаточно простые, не противоречащие требованиям стандарта способы увеличения допустимого числа приборов в КОП.

Нормально, если в качестве возбудителей линий использованы ИМС К155ЛА13 (с открытым коллектором), а в качестве приемников линии — любые ИМС ТТЛ, хотя лучше всего применять специализированные для КОП ИМС К559ИП6 (четыре возбудителя и приемника в одном корпусе) или КР580ВА93 (восемь двунаправленных линий).

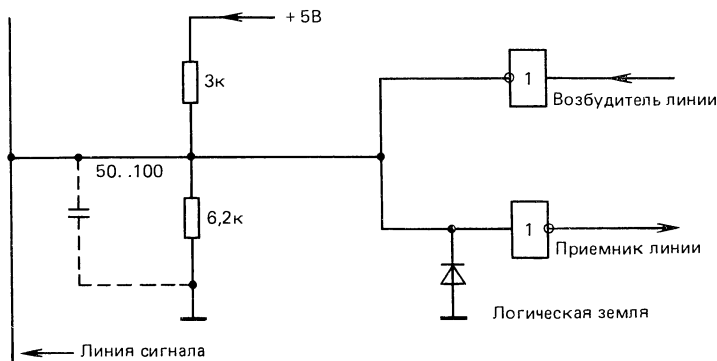


Рис. 2.4. Типовая схема подключения модуля к линии КОП

## Информационные линии интерфейса КОП

Наименование шины	Наименование линии	Обозначение		Номер контакта в разъеме РПМ7-24 в приборах выпуска		Назначение шины или линии
		Русское	Между- народное	до 1982 г.	после 1982 г.	
Шина дан- ных (ШД)	Линия данных 0	ЛД0	D101	1	1	Прием-переда- ча байтов ин- формации
	Линия данных 1	ЛД1	D102	2	3	
	Линия данных 2	ЛД2	D103	3	5	
	Линия данных 3	ЛД3	D104	4	7	
	Линия данных 4	ЛД4	D105	13	2	
	Линия данных 5	ЛД5	D106	14	4	
	Линия данных 6	ЛД6	D107	15	6	
	Линия данных 7	ЛД7	D108	16	8	
Шина синх- ронизации (ШС)	Сопровождение данных	СД	DAV	6	11	Согласован- ность работы источника и приемников при обмене ин- формацией
	Готов к приему	ГП	NRED	7	13	
	Данные приняты	ДП	NDAC	8	15	
Шина уп- равления (ШУ)	Управление	УП	ATN	11	21	Определение вида инфор- мации на ШД
	Конец передачи	КП	EOI	5	9	Признак окон- чания обмена
	Запрос на об- служивание	ЗО	SRQ	10	19	Окончание из- мерений или ненормальная работа
	Очистить интер- фейс	ОИ	IFC	9	17	Приведение ин- терфейса в ис- ходное поло- жение
	Дистанционное управление	ДУ	REN	17	10	Блокировка ручного управ- ления

Общее число информационных линий в интерфейсе КОП 16 (табл. 2.2). Кроме 16 информационных линий в магистрали КОП регламентированы еще восемь линий: логическая земля (контакт 24); экран (контакт 23), а также скрученные проводники (для образования витых пар) с СД (контакт 12), с ГП

(контакт 14), с ДП (контакт 16), с ОИ (контакт 18), с ЗО (контакт 20) и с УП (контакт 22). Все скрученные проводники обычно соединяются с экраном в разъеме РПМ7-24.

**Единицы и виды информации.** Основной единицей информации в КОП является байт, который передается или принимается по ШД. Например, байт  $70_{10} = 46_{16} = 106_8 = 01000110_2$  (индексом обозначена система счисления, в которой записано число) соответствует следующему состоянию линий ШД: ЛД7 — высокое, ЛД6 — низкое, ЛД5 — высокое, ЛД4 — высокое, ЛД3 — высокое, ЛД2 — низкое, ЛД1 — низкое, ЛД0 — высокое («высокое» — сокращенное обозначение уровня напряжения в линии, равного 2...5 В, «низкое» — 0...0,8 В). В КОП принято соглашение, что по ШД логические единицы передаются низкими уровнями, а нули — высокими. Нетрудно убедиться, что состояния линий повторяют двоичную форму записи числа  $70_{10}$  (в дальнейшем для десятичных чисел индекс опускается, для 16-ричных используется буква Н — 46Н, а для двоичных — В — 01000110В).

Безусловно, информацией является и состояние ШС и ШУ. Так, с помощью ШС квантуются моменты, когда данные на ЛД7...ЛД0 истинны, с помощью линии КП идентифицируется окончание сообщений, а с помощью линии УП информация подразделяется на два вида: команды и данные.

Если УП в низком, то по ШД передаются команды, если УП в высоком — данные. Данные — это коды, которые, как правило, индивидуальны для каждого модуля, приводятся в описании на него и используются как для изменения режимов работы прибора, так и для передачи результатов измерений. Обычно данные передаются только одному модулю персонально.

Команды, перечень которых приведен в табл. 2.3, — это однобайтовые сообщения, предназначенные для управления в основных состояниях интерфейсных функций в модулях. Они, за исключением СБА, СБУ и ЗАП, не воздействуют на режимы работы приборов и устройств АИС. Осуществлять передачу команд разрешено только управляющему модулю, т. е. ЭВМ.

**Адресация модулей.** Более половины команд (см. табл. 2.3), регламентированных в интерфейсе КОП, являются адресами. С учетом того, что все модули объединяются в АИС с помощью общей магистрали, естественными и необходимыми являются требования, регламентирующие различимость приборов в КОП. Для этого предназначены, с одной стороны, уже названные команды-адреса (ГАП и ГАИ), которые посылает ЭВМ с целью установления связи с конкретными модулями, а с другой — правила присвоения индивидуальных адресов внутри самих приборов.

Обычно индивидуальный адрес устанавливается единожды в период сборки АИС с помощью пяти тумблеров, расположенных на задней панели приборов. Реже вместо тумблеров применяются переключки. Так как каждый переключатель имеет два положения (0 или 1), число возможных комбинаций этих положений, а значит, и индивидуальных адресов составляет 32: 00000В, 00001В, 00010В, 00011В...11111В. Если ЭВМ выдает по ШД команду-адрес и младшие 5 бит совпадают с индивидуальным адресом, установленным в модуле, то это означает, что идет обращение именно к данному модулю. Анализ команд-адресов выполняется с помощью средств, встроенных в каждый прибор. Все индивидуальные адреса должны быть известны программисту до начала написания текста программ для АИС, так как это является единственным условием идентификации модулей, и если программа не изменяется, то не должны меняться и индивидуальные адреса.

Оставшиеся 2 бита в байте команды-адреса — ЛД5 и ЛД6 (ЛД7, как видно из табл. 2.3, не задействован в командах и согласно предписаниям интерфейса может использоваться для контроля четности) необходимы для назначения этого модуля либо приемником (ЛД6 — в высоком, ЛД5 — в низком, т. е. МАП — мой адрес приемника), либо источником (ЛД6 — в низком, ЛД5 — в высоком, т. е. МАИ — мой адрес источника). Нетрудно убедиться, что только команды ГАИ и ГАП имеют такие комбинации состояний битов ЛД6 и ЛД5. В остальных командах эти биты либо оба в высоком (логические нули), либо оба в низком (логические единицы).

Исключение составляют две команды: НПД и НПМ, что сделано умышленно. Ведь кроме того, что прибор в какой-то момент нужно назначить приемником или

## Команды интерфейса КОП

Код команды	Название или назначение команды	Обозначение		Принадлежность к группам команд	
		Русское	Международное		
0H	Не используется	—	—	Группа адресных команд (ГАК) — реагируют только выбранные модули	Группа первичных команд (ГПК)
1H	Переход на местное	ПНМ	GTL		
2H, 3H	Не используются	—	—		
4H	Сбор адресный	СБА	SDC		
5H	Конфигурация параллельного опроса	КПР	PPC		
6H, 7H	Не используются	—	—		
8H	Запуск устройства	ЗАП	GET		
9H	Взять управление	ВУП	TCT	Группа универсальных команд (ГУК) — реагируют все модули	
0AH—0FH	Не используются	—	—		
10H	Не используется	—	—		
11H	Запирание местного управления	ЗПМ	LLO		
12H, 13H	Не используются	—	—		
14H	Сброс универсальный	СБУ	DCL		
15H	Деконфигурация параллельного опроса	ДПР	PPU		
16H, 17H	Не используются	—	—	Группа адресов приемников (ГАП)	
18H	Отпирание последовательного опроса	ОПО	SPE		
19H	Запирание последовательного опроса	ЗПО	SPD		
1AH—1FH	Не используются	—	—	Группа адресов источников (ГАИ)	
20—3EH	Всего 31 различный код для адресации модулей приемниками	—	—		
3FH	Не принимать	НПМ	UNL		
40H—5EH	Всего 31 различный код для адресации модулей источниками	—	—	Группа вторичных адресов	
5FH	Не передавать	НПД	—		
60H—7FH	Всего 32 различных кода для адресации приемников и источников двухбайтовым методом	—	—	Группа вторичных команд	Группа вторичных адресов и команд (ГВК) — признаками отличия адресов от команд являются ГПК
60H—6FH	Отпирание параллельного опроса (всего 16 кодов для выдачи различных предписаний модулям)	ОПР	PPE		

Код команды	Название или назначение команды	Обозначение		Принадлежность к группам команд	
		Русское	Международное		
70H — 7FH	Запирание параллельного опроса (все-го 16 кодов для выдачи различных предписаний модулям)	ЗПР	PPD	Группа вторичных команд	
80H — 0FFH	Не используется	—	—	—	—

Таблица 2.4

## Адреса приемников и источников в интерфейсе КОП

№№ п/п	Индивидуальный адрес			МАП	МАИ	МВА
	Двоичная форма (положения тумбл.)	Десятичная форма	16-ричная форма			
1	00000	0	0	20H	40H	60H
2	00001	1	1	21H	41H	61H
3	00010	2	2	22H	42H	62H
4	00011	3	3	23H	43H	63H
5	00100	4	4	24H	44H	64H
6	00101	5	5	25H	45H	65H
7	00110	6	6	26H	46H	66H
8	00111	7	7	27H	47H	67H
9	01000	8	8	28H	48H	68H
10	01001	9	9	29H	49H	69H
11	01010	10	A	2AH	4AH	6AH
12	01011	11	B	2BH	4BH	6BH
13	01100	12	C	2CH	4CH	6CH
14	01101	13	D	2DH	4DH	6DH
15	01110	14	E	2EH	4EH	6EH
16	01111	15	F	2FH	4FH	6FH
17	10000	16	10	30H	50H	70H
18	10001	17	11	31H	51H	71H
19	10010	18	12	32H	52H	72H
20	10011	19	13	33H	53H	73H
21	10100	20	14	34H	54H	74H
22	10101	21	15	35H	55H	75H
23	10110	22	16	36H	56H	76H
24	10111	23	17	37H	57H	77H
25	11000	24	18	38H	58H	78H
26	11001	25	19	39H	59H	79H
27	11010	26	1A	3AH	5AH	7AH
28	11011	27	1B	3BH	5BH	7BH
29	11100	28	1C	3CH	5CH	7CH
30	11101	29	1D	3DH	5DH	7DH
31	11110	30	1E	3EH	5EH	7EH
32	11111	31	1F	HEТ	HEТ	7FH

Таблица 2.5

## Интерфейсные функции

Наименование	Обозначение		Назначение	Связь с другими функциями
	Русское	Международное		
Синхронизация передачи источника	СИ	SH	Передача команд и данных	К
Синхронизация приема	СП	АН	Прием команд и данных	И, ИР, П, ПР, К, ЗП, СБ, ОП, ДМ
Источник или источник с расширением	И или ИР	Т или ТЕ	Одно- или двухбайтовая адресация, разделение на режимы передачи результатов измерений и данных о состоянии	СИ, З, К
Приемник или приемник с расширением	П или ПР	Л или LE	Одно- или двухбайтовая адресация модулей приемниками	СП, ОП, ДМ, СБ, ЗП
Запрос на обслуживание	З	SR	Организация асинхронной выдачи и снятия запроса на обслуживание	—
Дистанционное местное управление	ДМ	RL	Порядок блокировки и деблокировки ручного управления модулями	—
Параллельный опрос	ОП	PP	Ускоренный способ идентификации модулей, требующих обслуживания	—
Очистить устройство	СБ	DC	Установка всех или выбранных модулей в исходное состояние	—
Запуск устройства	ЗП	DT	Одновременное включение измерительных ресурсов модулей	—
Контроллер	К	С	Инициализация и правила командования магистралью, передача управления другой ЭВМ	СП, СИ (только в ЭВМ)

источником, следует и уметь запрещать выборку этого модуля, когда необходимость в нем отпадает и требуется установить сеанс связи с другим прибором. Если от ЭВМ в КОП поступает команда НПИМ, все приемники

перестают быть выбранными и переходят в режим пассивного сканирования магистрали. Если поступает команда НПД—то же самое происходит с источниками. Коды команд НПД и НПМ по битам ЛД6 и ЛД5 соответствуют ГАИ и ГАП, а по битам ЛД4...ЛД0—индивидуальному адресу 11111В. Поэтому последний согласно инструкциям стандарта на КОП является запрещенной комбинацией для индивидуального адреса модуля. Тем самым число индивидуальных адресов, а следовательно, и допустимое число модулей в АИС ограничено цифрой 31. Соответствие номеров индивидуальных адресов командам МАИ и МАП приведено в табл. 2.4.

Кроме однобайтовой адресации в интерфейсе КОП предусмотрена также возможность двухбайтовой адресации. Для этой цели помимо ГАП и ГАИ имеются команды ГВК (см. табл. 2.3). Эта возможность позволяет, во-первых, расширить адресное пространство КОП с 31 до 992, т. е. увеличить допустимое число модулей в АИС, а во-вторых, реализовать комбинированную структуру интерфейса КОП в приборах. Ее суть можно пояснить следующим примером. Пусть в каркасе собрана часть интерфейсных узлов, встраиваемых в обычный модуль. Эти узлы являются общими для всех субблоков, которые вставлены в каркас. Каркас имеет обычный (первичный) индивидуальный адрес, а каждый субблок—индивидуальный вторичный адрес, выставляемый либо тумблерами, либо перемычками. Число допустимых вторичных адресов по аналогии с первичными также 32. Такая конфигурация интерфейсных узлов уменьшает аппаратные затраты на КОП в каждом субблоке, так как все общие функции вынесены в интерфейсную ячейку каркаса.

Очевидно, что в рассмотренной конфигурации модулями АИС являются субблоки. Именно они выполняют измерительные или другие задачи по контролю и диагностике объектов. Однако по отношению к ЭВМ адресация этих субблоков на прием или передачу осуществляется двумя командами. Первая—МАИ или МАП для каркаса, с помощью которой подготавливаются схемы для приема вторичных адресов, а также определяется, чем быть субблоку—источником или приемником, а вторая—МВА (мой вторичный адрес) для субблока. Разадресация может быть сделана обычным образом с помощью команд НПД или НПМ, при этом снимается выборка и каркаса, и субблока одновременно.

**Интерфейсные функции.** В стандарте на интерфейс КОП регламентировано десять специальных (интерфейсных) функций, с помощью которых осуществляется согласованная работа модулей в АИС. Их перечень, назначение и условные обозначения приведены в табл. 2.5, схемы-диаграммы—на рис. 2.5—2.16, а описание состояний—в табл. 2.6.

Кроме стандартных необходимо отметить еще одну производную от СИ, СП, И и П функцию, именуемую последовательным опросом (ПО). Эта функция, как и ОП, предназначена для идентификации приборов, требующих обслуживания, но в отличие от ОП более медленно действующая. Однако в большинстве приборов функция ОП не реализована, и единственным способом идентификации модулей, выставивших запрос в КОП, является последовательный опрос.

Все функции интерфейса КОП объединяет ряд общих правил, которые исключительно важны для понимания дальнейшей работы КОП и заключаются в следующем.

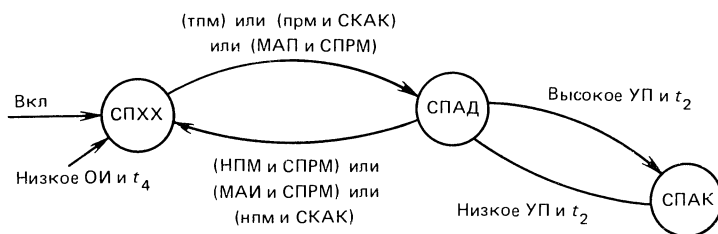


Рис. 2.5. Функция «приемник»

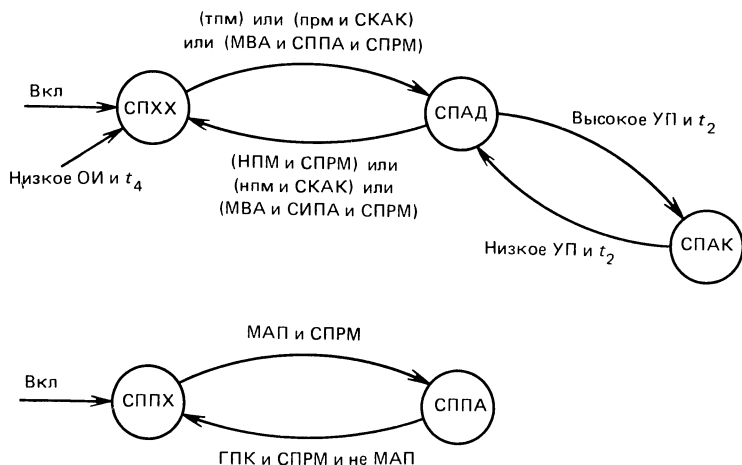


Рис. 2.6. Функция «приемник с расширением»

Любая функция имеет конечное число состояний (от двух в ЗП или СБ до 20 в К). Состояния всегда обозначаются на схемах-диаграммах окружностью.

Каждое состояние либо обеспечивает выдачу в линии КОП высоких или низких уровней, либо взаимодействует с измерительными или функциональными ресурсами модулей, либо является необходимым условием для выполнения переходов из одного состояния в другое в рамках этой же или других интерфейсных функций. Возможна также любая комбинация из трех перечисленных назначений.

Часть состояний, связанных между собой переходами, образует группы состояний в рамках одной функции. Внутри каждой группы в один и тот же момент всегда существует только одно активное состояние, т. е. состояние, которое выполняет предписанные ему (см. табл. 2.6) действия. Таким образом, активных состояний в КОП всегда столько, сколько групп состояний в функциях (в СИ, П, З, ДМ, СБ, ЗП, СП—по одному, в ПР, И и ОП—по два, в ИР—три, в К—пять, а всего 16, если в модуле реализованы функции И и П, или 18, если ИР и ПР).

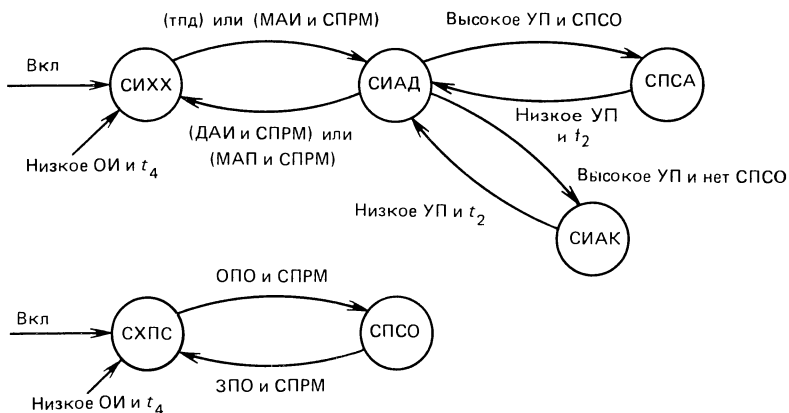


Рис. 2.7. Функция «источник»



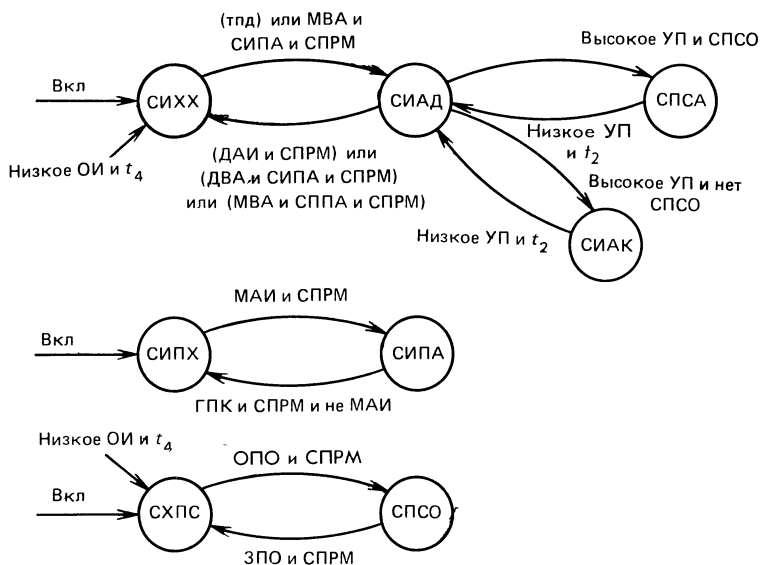


Рис. 2.8. Функция «источник с расширением»

Переход от состояния к состоянию, который на диаграммах изображается стрелкой, означает конец активности одного состояния и начало активности другого. Для выполнения перехода необходимо и достаточно, чтобы выполнялось соответствующее условие, которое всегда выписано на диаграммах. Условиями перехода могут быть: изменение состояний линий магистрали КОП; получение команд; другие состояния этой же или иных функций; импульсы или уровни, идущие от внутренних схем модулей (так называемые местные сообщения, описание которых приведено в табл. 2.7); лимит времени, который должен быть либо не более, либо не менее заданного значения; любые комбинации перечисленных факторов.

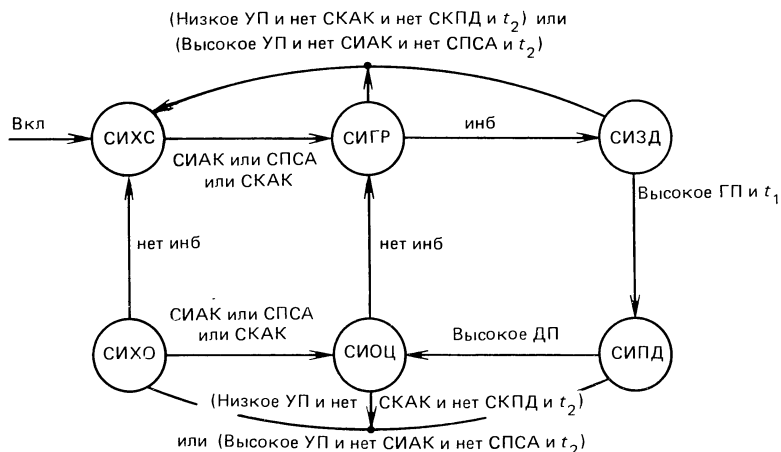


Рис. 2.9. Функция «синхронизация передачи источника»

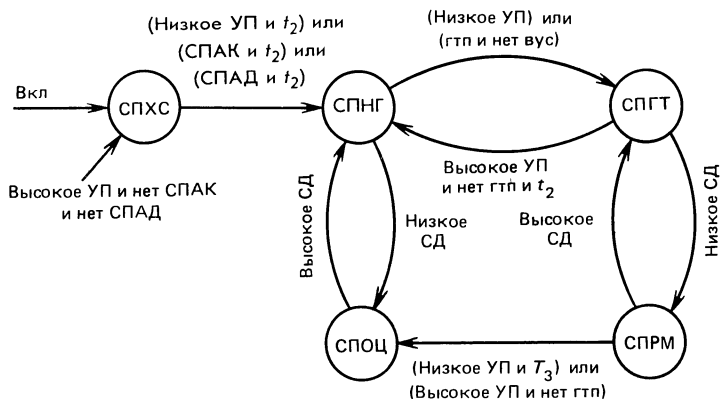


Рис. 2.10. Функция «синхронизация приема»

Для упрощения чтения диаграмм интерфейсных функций обозначения линий, команд, состояний, местных сообщений и лимитов времени строго оговорены. Все линии обозначены двумя заглавными буквами, все команды—тремя, все состояния—четырьмя, причем первой буквой всегда является С. Местные сообщения обозначаются тремя строчными буквами. Если лимит времени используется в смысле «не менее», то применяется буква  $T$ , если «не более», то  $t$ . Значения лимитов времени приведены в табл. 2.8.

Важно, что в рамках каждой группы состояний всегда имеется так называемое состояние «холостого хода». Это связано с параллельными соединениями модулей в КОП, а значит, с как бы параллельным подключением к КОП всех функций. Однако в тот или иной момент они все сразу не нужны. Холостой ход предотвращает клинчи (взаимные помехи и двойственные ситуации), которые могли возникнуть при одновременной работе функций. В состоянии «холостого хода» никаких воздействий на линии интерфейса, а также на измерительные и функциональные ресурсы модуля не предусматривается.

Если в каком-либо состоянии предписано удерживать ту или иную линию КОП в высоком, это эквивалентно отсутствию воздействия на линию. Выдаваемый в линию откуда-нибудь по любой причине низкий уровень переведет ее в целом

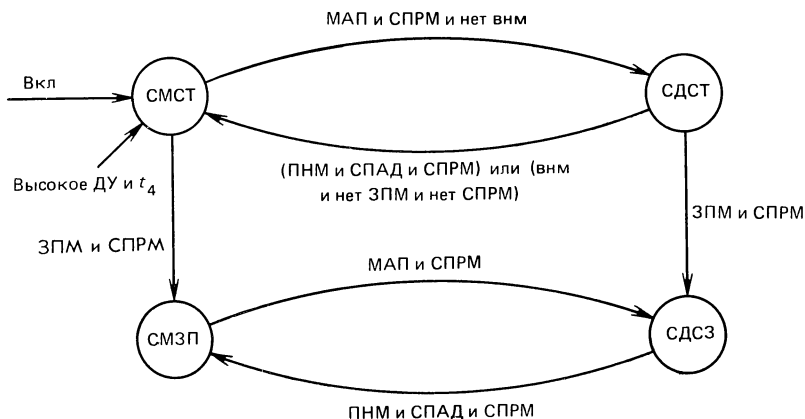


Рис. 2.11. Функция «дистанционное/местное управление»



Рис. 2.12. Функция «очистить устройство»

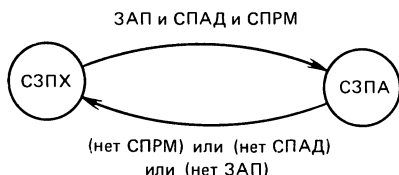


Рис. 2.13. Функция «запуск устройства»

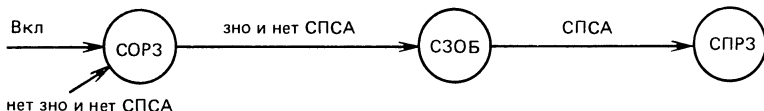


Рис. 2.14. Функция «запрос на обслуживание»

в состояние «низкое». Рассмотренная ситуация лишний раз подчеркивает необходимость концептуального осознания, что в КОП каждому прибору соответствует до десяти интерфейсных функций, т. е. если АИС содержит два прибора, их уже до 20, если три—до 30 и т. д.

В ряде модулей могут быть реализованы не все интерфейсные функции. Сколько и какие функции встраивать в приборы, решают разработчик и конструктор. Стандарт допускает почти свободный выбор, за исключением взаимосвязанных функций (см. табл. 2.5). Например, без функции СП не могут быть реализованы функции П, ПР, И, ИР, СБ, ЗП, ДМ, ОП, без функции И или ИР—функция СИ1 и т. п. Разумно также не встраивать, например, в измерительные приборы, принтеры, коммутаторы функцию К. Эта функция—принадлежность ЭВМ.

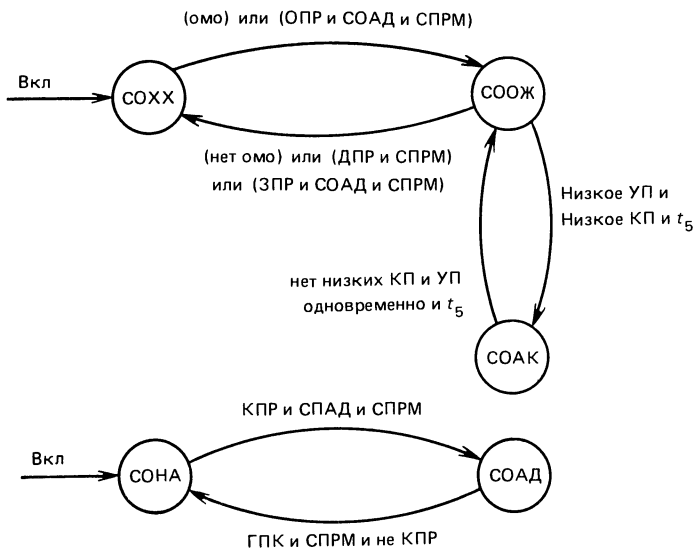


Рис. 2.15. Функция «параллельный опрос»

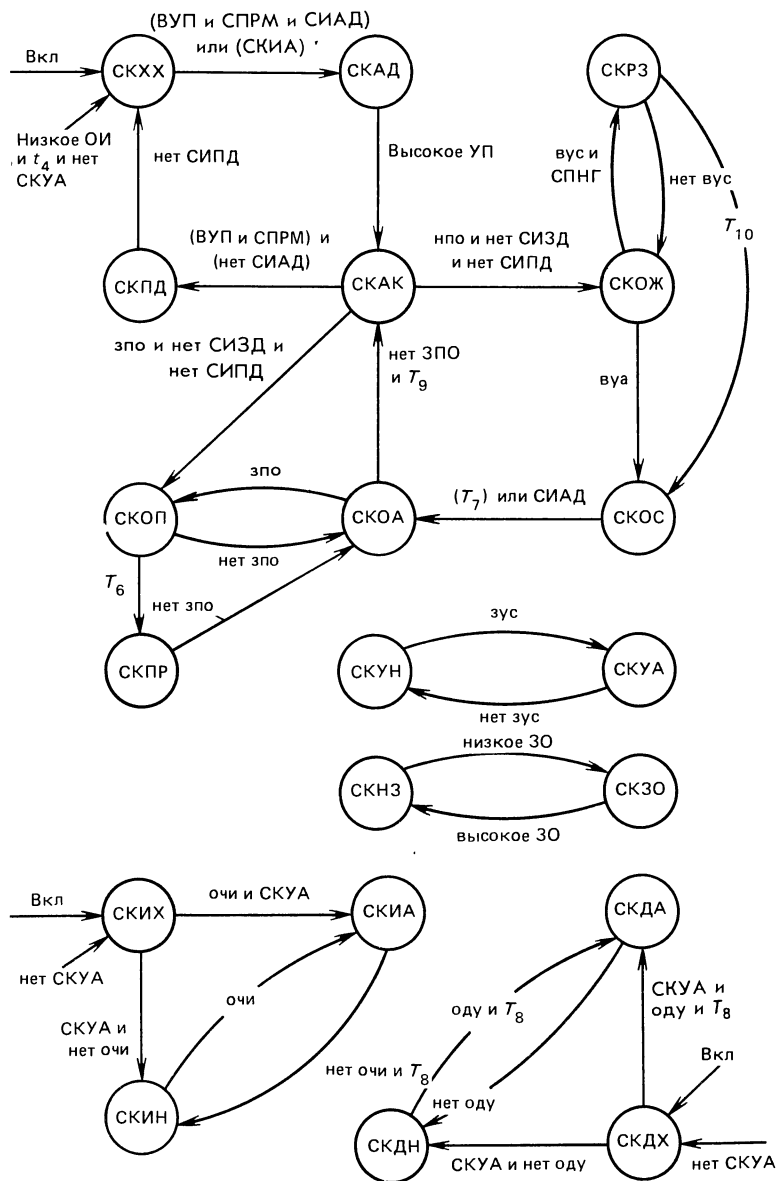


Рис. 2.16. Функция «контроллер»

**Описание состояний**

Обозначение		Наименование	Назначение	Формирующая функция	
Русское	Международное				
СИХС	SIDS	СИ «холостой ход»	Исключение влияния СИ на работу интерфейса и модуля	СИ	
СИГР	SGNS	СИ «генерация»	Установка байта на ШД		
СИЗД	SDYS	СИ «задержка»	Ожидание окончания переходных процессов в ШД и линии КП		
СИПД	STRS	СИ «передача»	Подтверждение истинности данных на ШД		
СИОЦ	SWNS	СИ «ожидание нового цикла»	Завершение цикла передачи байта		
СИХО	SIWS	СИ «холостой ход и ожидание»	Обеспечение прерывания цикла обмена без потери информации		
СПХС	AIDS	Прием «холостой ход»	Исключение влияния СП на работу интерфейса и модуля	СП	
СПНГ	ANRS	Прием «не готов»	Подготовка к приему байта		
СПГТ	ACRS	Прием «готов»	Выдача в интерфейс сигнала о готовности к приему байта		
СПРМ	ACDS	«Прием данных»	Прием данных с ШД и линии КП		
СПОЦ	AWNS	Прием «ожидание нового цикла»	Выдача в интерфейс сигнала о завершении приема байта		
СОРЗ	NRPS	«Отрицательная реакция на опрос»	Управление битом ЛД6 в байте состояния модуля	3	

Таблица 2.6

## интерфейсных функций

Управляемые линии	Выдаваемые уровни в линиях КОП									Связь с другими функциями
	ШД	УП	ДУ	ОИ	ЗО	КП	СД	ГП	ДП	
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
ШД, СД, КП (низкое КП передается по тем же правилам, что и байт по ШД, и является отличительным признаком последнего байта)	Смена байта	В	В	В	В	В/Н	В	В	В	—
	Переходный процесс	В	В	В	В	В/Н	В	В	В	К
	Байт данных	В	В	В	В	В/Н	Н	В	В	К
	Любое	В	В	В	В	В/Н	В	В	В	—
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
ГП, ДП	В	В	В	В	В	В	В	В	В	К
	В	В	В	В	В	В	В	В	Н	—
	В	В	В	В	В	В	В	Н	Н	К, ЗП, СБ, ОП, И, ИР, П, ПР, ДМ
	В	В	В	В	В	В	В	Н	В	—
ЗО и косвенно через функции СИ и И или ИР (состояние СПСА) ЛД6	ЛД6—В	В	В	В	В	В	В	В	В	—

Обозначение		Наименование	Назначение	Формирующая функция
Русское	Международное			
СЗОБ	SRQS	«Запрос на обслуживание»	Выдача в интерфейс сигнала о запросе на обслуживание	3
СПРЗ	APRS	«Положительная реакция на опрос»	Управление битом ЛД6 в байте состояния модуля	
СИХХ	TIDS	Состояние И «холостой ход»	Исключение влияния И на работу интерфейса и модуля	И или ИР
СИАД	TADS	Состояние И «адресован»	Подготовка модуля к выдаче данных	
СИАК	TACS	Состояние И «активен»	Запуск алгоритма передачи на выдачу результатов измерений	
СПСА	SPAS	«Последовательный опрос активен»	Запуск алгоритма передачи на выдачу байта состояния	
СИПХ	TRIS	Состояние И «первичный холостой ход»	Исключить влияние на работу интерфейса и модуля	
СИПА	TPAS	«Источник адресован»	«Подготовка модуля для приема вторичного адреса»	
СХПС	SPIS	«Холостой ход последовательного опроса»	Исключить влияние на работу интерфейса и модуля	
СПСО	SPMS	«Режим последовательного опроса»	Выдача байта состояния вместо передачи результатов измерений	
СПХХ	LIDS	П «Холостой ход»	Исключить влияние на работу интерфейса и модуля	П
СПАД	LADS	П «адресован»	Подготовка к приему данных	

Управляемые линии	Выдаваемые уровни в линиях КОП									Связь с другими функциями
	ШД	УП	ДУ	ОИ	ЗО	КП	СД	ГП	ДП	
ЗО и косвенно через функции СИ и И или ИР (состояние СПСА) ЛД6	В	В	В	В	Н	В	В	В	В	—
	ЛД6—Н	В	В	В	В	В	В	В	В	—
—	Всегда все в высоком									—
										К
										СИ
										СИ, З
										—
										ПР, ИР
										—
	Всегда все в высоком									И, ИР
										—
										ЗП, СБ, ОП, ДМ, СП



Обозначение		Наименование	Назначение	Формирующая функция
Русское	Международное			
СПАК	LACS	П «активен»	Запуск алгоритма приема информации	или  ПР
СППХ	LPIS	П «первичный холостой ход»	Исключение влияния на работу интерфейса и модуля	
СППА	LPAS	П «первичный адресован»	Подготовка модуля для приема вторичного адреса	
СМСТ	LOCS	«Местный»	Ручное управление модулем	ДМ
СМЗП	LWLS	«Местный с запиранием»		
СДСТ	REMS	«Дистанционный»	Блокировка ручного управления за исключением кнопки «ВНМ»	
СДСЗ	RWLS	«Дистанционный с запиранием»	Блокировка ручного управления, в том числе и кнопки «ВНМ»	
СКХХ	CIDS	К «холостой ход»	Исключение влияния на работу интерфейса и модуля	К
СКАД	CADS	К «адресован»	Подготовка к управлению интерфейсом и модулями	
СКПД	CTRS	К «переход»	Передача управления интерфейсом и модулями другому контроллеру	
СКАК	CACS	К «активен»	Режим передачи команд	
СКОП	CPWS	К «ожидание параллельного опроса»	Инициализация параллельного опроса модулей и ожидание окончания переходных процессов в ШД	

Продолжение табл. 2.6

Управляемые линии	Выдаваемые уровни в линиях КОП									Связь с другими функциями
	ШД	УП	ДУ	ОИ	ЗО	КП	СД	ГП	ДП	
—	Всегда всё в высоком									СП
										—
										ПР, ИР
—	Всегда всё в высоком									—
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
ШД, УП, КП и кос-венно линией ГП через функцию П или ПР и СП  К	ВУП	Н	В	В	В	В	В	В	В	СИ
	Команды	Н	В	В	В	В	В	В	В	СИ, П, ПР
	В	Н	В	В	В	Н	В	В	В	—

Обозначение		Наименование	Назначение	Формирующая функция
Русское	Международное			
СКПР	CPPS	К «параллельный опрос»	Считывание ШД при проведении параллельного опроса	К
СКОА	CAWS	К «активное ожидание»	Завершение параллельного опроса модулей	
СКОЖ	CSBS	К «ожидание»	Режим приема-передачи данных	
СКОС	CSWS	К «синхронное ожидание»	Прерывание режима приема-передачи данных (СКОЖ)	
СКРЗ	CSHS	К «резерв»	Предотвращение сбоев в интерфейсе от прерывания режима приема-передачи данных	
СКНЗ	CSNS	К «обслуживание не запрашивается»	Указание ЭВМ, что в АИС никто не запрашивает обслуживания	
СКЗО	CSRS	К «обслуживание запрашивается»	Указание ЭВМ, что в АИС есть модуль и модули, требующие обслуживания	
СКУН	SNAS	«Управление системы не активно»	Признак ведомых контроллера в АИС	
СКУА	SACS	«Управление системы активно»	Признак главного контроллера в АИС	
СКДХ	SPIS	«Управление системы «холостой ход дистанционного управления»	Исключение влияния на работу интерфейса и модулей	
СКДН	SWRS	Управление системы «отпирание дистанционного управления не активно»	Переход на ручное управление всеми модулями в АИС	

Продолжение табл. 2.6

Управляемые линии	Выдаваемые уровни в линиях КОП									Связь с другими функциями
	ШД	УП	ДУ	ОИ	ЗО	КП	СД	ГП	ДП	
ШД, УП, КП и косвенно линией ГП через функцию П или ПР и СП	В	Н	В	В	В	Н	В	В	В	—
	В	Н	В	В	В	В	В	В	В	—
	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
	В	Н	В	В	В	В	В	В/Н	В/Н	—
	В	В	В	В	В	В	В	Н	Н	—
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	К
—	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
ДУ	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—

Обозначение		Наименование	Назначение	Формирующая функция	
Русское	Международное				
СКДА	SRAS	Управление системы «отпирание дистанционного управления активно»	Подготовка модулей АИС к блокировке ручного управления	К	
СКИХ	SIIS	«Управление системы «холостой ход очистки интерфейса»	Исключение влияния на работу интерфейса со стороны ведомых контроллеров		
СКИА	SIAS	Управление системы «очистка интерфейса активна»	Приведение интерфейса в исходное		
СКИН	SINS	Управление системы «очистка интерфейса не активна»	Исключение влияния на работу интерфейса со стороны контроллера		
СОХХ	PPIS	«Холостой ход параллельного опроса»	Исключение влияния на работу интерфейса и модулей	ОП	
СООЖ	PPSS	«Ожидание параллельного опроса»	Поддержание готовности к выдаче сообщения о состоянии запроса		
СОАК	PPAS	«Параллельный опрос активен»	Выдача состояния запроса (низкий уровень в предписанной ЛД — есть запрос, высокий — нет запроса)		
СОНА	PUCS	«Параллельный опрос не адресован на конфигурацию»	Исключение влияния на работу интерфейса и модулей		
СОАД	PACS	«Параллельный опрос адресован на конфигурацию»	Подготовка модуля к приему команды ОПР		
ССБХ	DCIS	«Холостой ход функции СБ»	Исключение влияния на работу интерфейса и модулей		
				СБ	

Продолжение табл. 2.6

Управляемые линии	Выдаваемые уровни в линиях КОП									Связь с другими функциями
	ШД	УП	ДУ	ОИ	ЗО	КП	СД	ГП	ДП	
ДУ	В	В	Н	В	В	В	В	В	В	—
ОИ	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
	В	В	В	Н	В	В	В	В	В	К
	В	В	В	В	В	В	В	В	В	—
ШД (бит в ШД, которым будет управлять модуль, назначается контроллером в команде ОПР)	В	Всегда в высоком								—
	В									—
	В/Н									—
	В									—
	В									ОП
—		Всегда все в высоком								—

Обозначение		Наименование	Назначение	Формирующая функция
Русское	Международное			
ССБА	DCAS	Функция СБ «активна»	Выдача сигнала для приведения функциональных и измерительных ресурсов модулей в исходное	СБ
СЗПХ	DTIS	«Холостой ход запуска устройства»	Исключение влияния на работу интерфейса и модулей	ЗП
СЗПА	DTAS	«Запуск устройства активен»	Выдача сигнала для запуска измерительных или функциональных ресурсов модулей в работу	

В то же время в ЭВМ вряд ли нужны функции СБ и ЗП и т. д. Нормативными документами отраслевого уровня должны быть оговорены номенклатура и варианты исполнения интерфейсных функций для классов и групп изделий. Этим будет обеспечена достаточная для АИС информационная и программная совместимость модулей.

**Прием-передача информации.** Центральное место в стандарте на интерфейс занимает алгоритм приема-передачи информации, а точнее, байта, поскольку информация передается побайтно. В КОП возможны четыре различных режима обмена:

передача команд от ЭВМ всем без исключения модулями АИС (командный режим, сопровождаемый низким УП);

передача данных от ЭВМ к одному или нескольким модулям (программирование режимов работы);

прием данных от какого-либо модуля в ЭВМ (считывание результатов измерений);

передача данных от одного модуля другому или нескольким другим модулям (например, результаты измерений частоты сигнала поступают от частотомера на принтер и распечатываются, минуя ЭВМ).

Информация на ШД постоянно изменяется, поэтому работа модулей невозможна без квантования моментов, определяющих соответствие уровней в линиях ЛД7—ЛД0 передаваемым байтам. Для этого в интерфейсе КОП предусмотрен специальный алгоритм и три линии: ГП, ДП и СД (см. табл. 2.2).

В установившемся процессе приема-передачи по КОП в какой-то момент времени всегда участвует только один источник информации. В следующий момент источником может быть другой прибор, но и тогда он будет единственным модулем, выдающим информацию. Источник управляет состоянием линий в ШД, а также линиями СД и КП. Если в линии КП установлен низкий уровень (исключая командный режим, в котором запрещено переводить КП в низкое), то байт информации, выставленный на ШД, является последним в текущем обмене. Появление низкого СД означает, что информация на ШД и линии КП истинная. Кода СД в высоком, чтение ШД и линии КП запрещено.

Информацию может принимать как несколько, так и один модуль. Число одновременно работающих приемников стандартом не нормируется. Более того,

Управляемые линии	Выдаваемые уровни в линиях КОП									Связь с другими функциями
	ШД	УП	ДУ	ОИ	ЗО	КП	СД	ГП	ДП	
—	Всегда все в высоком									—
—	Всегда все в высоком									—

весь алгоритм специально построен таким образом, что при любом числе приемников все они получают достоверную информацию. Каждый приемник в процессе обмена управляет двумя линиями: ГП и ДП. Если приемник выдает высокое ГП, то это означает, что он готов к приему информации с ШД. Если приемник выставил высокое ДП, значит, он закончил считывать данные с ШД, т. е. данные принял. Когда в процессе обмена участвуют два приемника, то, например, линия ГП переходит в высокое только после того, как оба приемника будут готовы к приему, т. е. выставят ГП в высокое. Если хотя бы один не готов, то линия ГП будет им удерживаться в низком. Аналогично управляется и линия ДП, следовательно, быстроедействие участвующих в приеме модулей может быть самым различным.

В процессе обмена по КОП между источником и приемником однозначно определена согласованность в действиях. Источник, управляя ШД, линией КП и линией СД, анализирует линии ГП и ДП, а поскольку эти линии коллективные, то источник взаимодействует одновременно со всеми приемниками. Каждый приемник, в свою очередь, индивидуально управляет линиями ГП и ДП, анализирует линию СД. Алгоритмы синхронизации работы источника и приемника в процессе обмена байтом, регламентированные в функциях СИ и СП, приведены на рис. 2.17—2.19. Их основная задача заключается в обеспечении надежности приема-передачи информации между модулями АИС независимо от их быстрогодействия и режима функционирования.

Для того чтобы запустить алгоритмы приема и передачи байтов, равно как и закончить или прервать их работу, стандартом КОП предусмотрены специальные правила, которые определены в рамках функций И или ИР, П или ПР, СИ и СП.

**Функции «приемник» и «приемник с расширением».** Функции П и ПР предназначены для определения порядка перехода модуля в режим выбранного (адресованного) приемника. Это означает, что в следующий момент именно этому модулю будет посылаться информация. Остальные приборы эти данные будут игнорировать.

Когда модуль адресован на прием, его функция П или ПР находится либо в состоянии СПАД, либо СПАК (см. табл. 2.6, рис. 2.5 и 2.6) в зависимости от уровня в линии УП. Если УП в низком (СПАД)—принимаются команды, если



## Описание местных сообщений

Обозначение		Наименование	Место применения	Назначение	Наиболее часто встречающийся способ реализации
Русское	Международное				
вкл	rop	Питание включено	К, СИ, СП, П, И, З, ОП, ДМ	Приведение интерфейса внутри модуля в исходное состояние	Импульс, инициируемый включением тумблера «Сеть»
инб	nba	Имеется новый байт	СИ	Выделение начала и конца внутренних (не интерфейсных) процессов подготовки байта к передаче	Импульс, инициируемый внутренними схемами модулей (спад — начало процесса, фронт — конец процесса)
гтп	rdy	Готов для принятия следующего сообщения	СП	Выделение промежутков времени, когда модуль занят внутренней работой и не может принимать данные (это не относится к командам)	Импульс, инициируемый внутренними схемами модулей (фронт — конец занятости, спад — начало занятости)
вус	tcs	Взять управление синхронно	К, СП	Гарантированный отсбоев в работе интерфейса переход контроллера из режима приема-передачи данных в командный режим	Импульс, инициируемый нормальной (без прерываний) работой управляющей программы АИС
тпд	ton	Только передавать	И, ИР	Принудительный перевод модуля в режим выбранного источника	Уровень, инициируемый специальным тумблером в модуле
прм	ltn	Принимать	П, ПР	Установка ЭВМ в режим приема данных	Импульс, инициируемый управляющей программой АИС
нмп	lun	Местное сообщение «не принимать»		Снятие режима приема данных в ЭВМ	Импульс, инициируемый управляющей программой АИС
тпм	lon	Только принимать	П, ПР	Принудительный перевод модуля в режим выбранного приемника	Уровень, инициируемый специальным тумблером в модуле

Обозначение		Наименование	Место применения	Назначение	Наиболее часто встречающийся способ реализации
Русское	Международное				
зно	tsv	Запрос на обслуживание	З	Установка одной из причин, по которой необходимо вмешательство ЭВМ в работу модуля	Уровень, инициируемый внутренними схемами модулей
внм	rtl	Возврат местный	ДМ	Принудительный перевод модуля из дистанционного в ручное управление	Импульс, инициируемый специальной кнопкой в модуле
ист	ist	Индивидуальный статус	ОП	Логическое «или» всех зно	Уровень, инициируемый внутренними схемами модулей
омо	lpe	Отпирание местного опроса	ОП	Конфигурация и деконфигурация модуля на параллельный опрос вручную	5 уровней, инициируемые пятью тумблерами (не адресными) в модуле
зус	rsc	Запрос управления системы	К	Разделение ЭВМ в АИС на ведущую и ведомые	Уровень, инициируемый специальным тумблером в ЭВМ
зпо	grp	Запрос параллельного опроса	К	Перевод ЭВМ в режим параллельного опроса модулей	Уровень, инициируемый управляющей программой в АИС
пно	gts	Переход на ожидание	К	Перевод ЭВМ из режима передачи команд в режим приема-передачи данных	Импульс, инициируемый управляющей программой в АИС
вуа	tca	Взять управление асинхронно	К	Аварийный (без учета вероятности сбоя) перевод ЭВМ в режим передачи команд	Импульс, инициируемый управляющей программой в АИС
очи	sic	Послать сигнал «очистить интерфейс»	К	Приведение интерфейса в исходное состояние	Уровень, инициируемый управляющей программой в АИС

Обозначение		Наименование	Место применения	Назначение	Наиболее часто встречающийся способ реализации
Русское	Международное				
оду	sgc	Послать сигнал «отпирание дистанционного управления»	К	Подготовка модулей к блокировке ручного управления	Уровень, инициируемый управляющей программой в АИС

Таблица 2.8

## Описание лимитов времени

Обозначение	Номинал	Интерфейсная функция	Момент начала отсчета	Назначение
$T_1$	Не менее 2 мкс	СИ	Установка байта на ШД	Ожидание окончания переходных процессов (зависит от выбранных схем возбудителей линий и может быть уменьшено до 350 нс)
$t_2$	Не более 200 нс	СИ, СП, П, ПР, И, ИР	Низкое УП	Переход интерфейса в командный режим из любого, в каком бы он ни был
		П, ПР	Высокое УП	Переход приемника в режим приема данных
$T_3$	Не нормировано	П, ПР	Низкое СД	Прием команды (зависит от схемы модуля и должно быть минимальным)
$t_4$	Не более 100 мкс	К, И, ИР, П, ПР	Низкое ОИ	Переход интерфейса в исходное
		ДМ	Высокое ДУ	Снятие блокировки ручного управления
$t_5$	Не более 200 нс	ОП	Низкие УП и КП одновременно	Выдача на ШД информации о состоянии
			Высокое КП	Освобождение ШД от информации о состоянии

Обозначение	Номинал	Интерфейсная функция	Момент начала отсчета	Назначение
$T_6$	Не менее 2 мкс	К	Низкие УП и КП	Ожидание окончания переходных процессов в ШД при проведении ЭВМ параллельного опроса
$T_7$	Не менее 500 нс	К	Низкое УП	Ожидание ЭВМ перехода интерфейса в командный режим (заведомо больше, чем $t_2$ )
$T_8$	Не менее 100 мкс	К	Низкое ОИ	Выдача низкого ОИ (всегда больше или равно $t_4$ )
			Высокое ДУ	Выдача высокого ДУ (всегда больше или равно $t_4$ )
$T_9$	Не менее 1,5 мкс	К	Высокое КП	Ожидание ЭВМ освобождения ШД от информации о состоянии (заведомо большее, чем $t_5$ )
$T_{10}$	Не менее 1,5 мкс	К	Низкие ГП и ДП	Ожидание ЭВМ остановки процесса передачи данных источником и снятия подтверждения истинности байта данных на ШД

в высоком (СПАК)—данные, т. е. информация для переключения режимов работы. Следовательно, когда в процессе управления АИС адресованному модулю нужно передать команду, то ЭВМ должна перевести УП в низкое, если данные—то в высокое. Если необходимо разадресовать прибор, то достаточно перевести функцию П или ПР в состояние СПХХ, означающее, что модуль не адресован приемником.

В дальнейшем станет известно, что команды должны приниматься всегда и для этого не обязательно предварительно адресовать прибор. Однако состояния СПХХ и СПАД, а только они возможны в командном режиме, существенно различаются. В СПАД все команды без исключения принимаются, дешифрируются и исполняются. В СПХХ также все команды принимаются и дешифрируются, но исполняются только ГУК, ГАП и ГАИ (см. табл. 2.3). Команды ГАК игнорируются всегда, а команды ГВК игнорируются этой функцией в случае, если реализована функция П. Если модуль имеет функцию ПР, то при активном состоянии СППА команды ГВК исполняются, а при активном СППХ—игнорируются. Другими словами, в состоянии СПАД с помощью команд возможен запуск прибора на измерения, временный перевод его из дистанционного управления в местное, конфигурирование модуля на параллельный опрос, индивидуальный перевод в исходное состояние (сброс) и т. д. В СПХХ все эти операции не относятся к данному устройству, и если такие команды поступают через КОП, то предназначены другому прибору, который в этот момент адресован (т. е. у того, другого модуля функция П находится в СПАД).

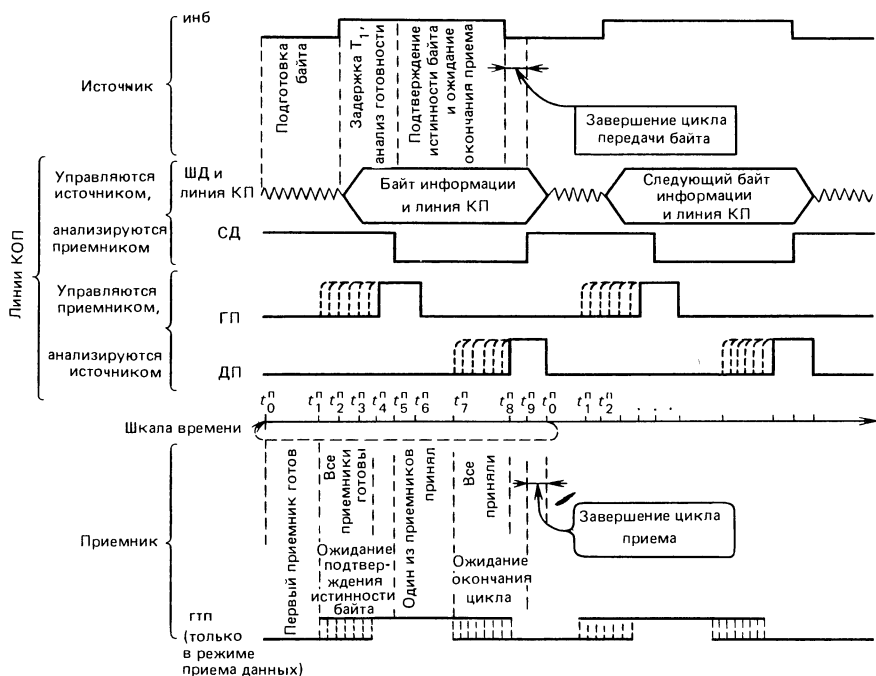


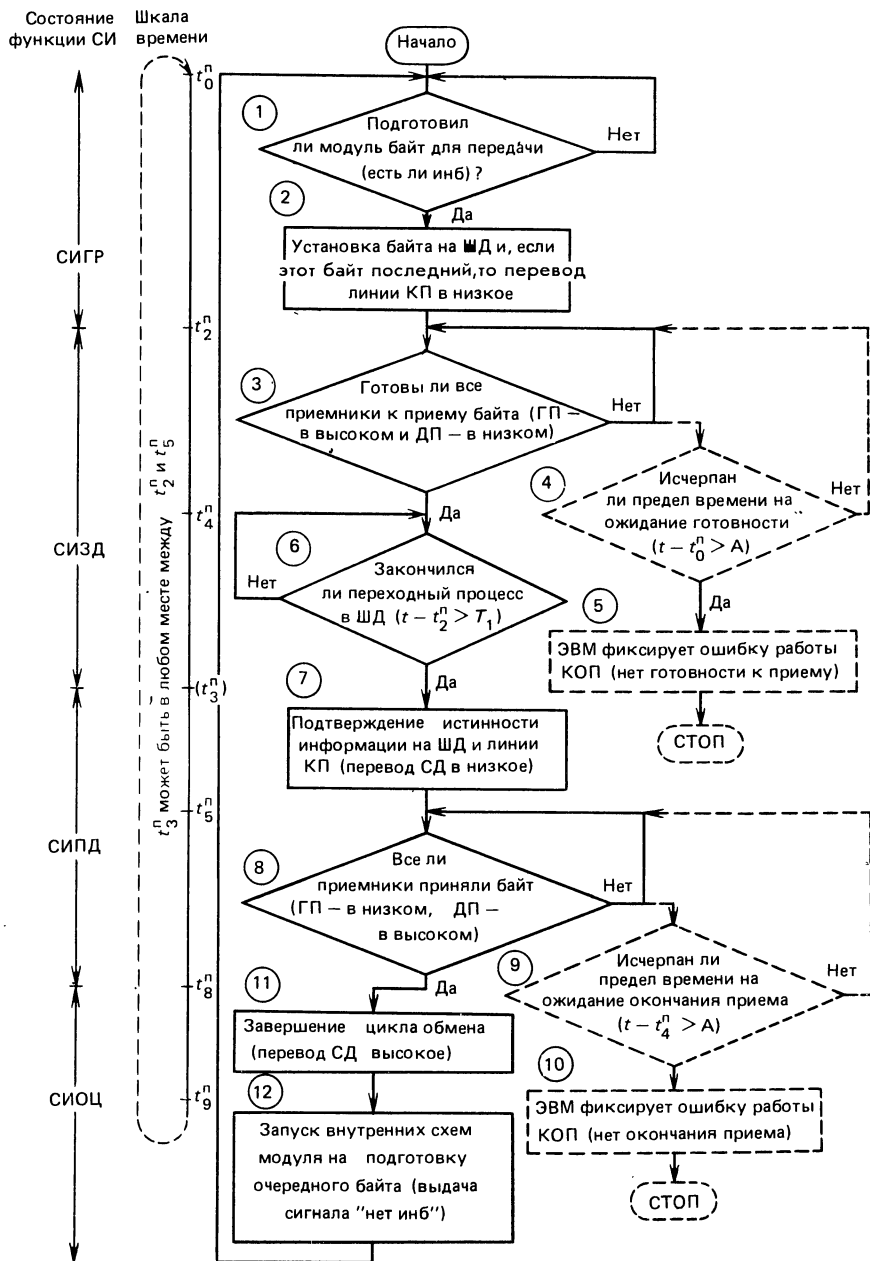
Рис. 2.17. Временная диаграмма процесса приема-передачи байта в интерфейсе КОП

Адресация прибора (переход из СПХХ в СПАД) осуществляется тремя различными способами. Основной из них—адресация посредством передачи через КОП команды МАП (условие «МАП и СПРМ» на рис. 2.5). Состояние СПРМ всегда сопровождает команду в логических выражениях для переходов из одного состояния какой-либо функции интерфейса в другое. Наличие СПРМ означает, что чтение ШД разрешается только в этот момент (см. рис. 2.19). В противном случае, что бы ни было на ШД, информация не является командой и, более того, не является байтом информации вообще.

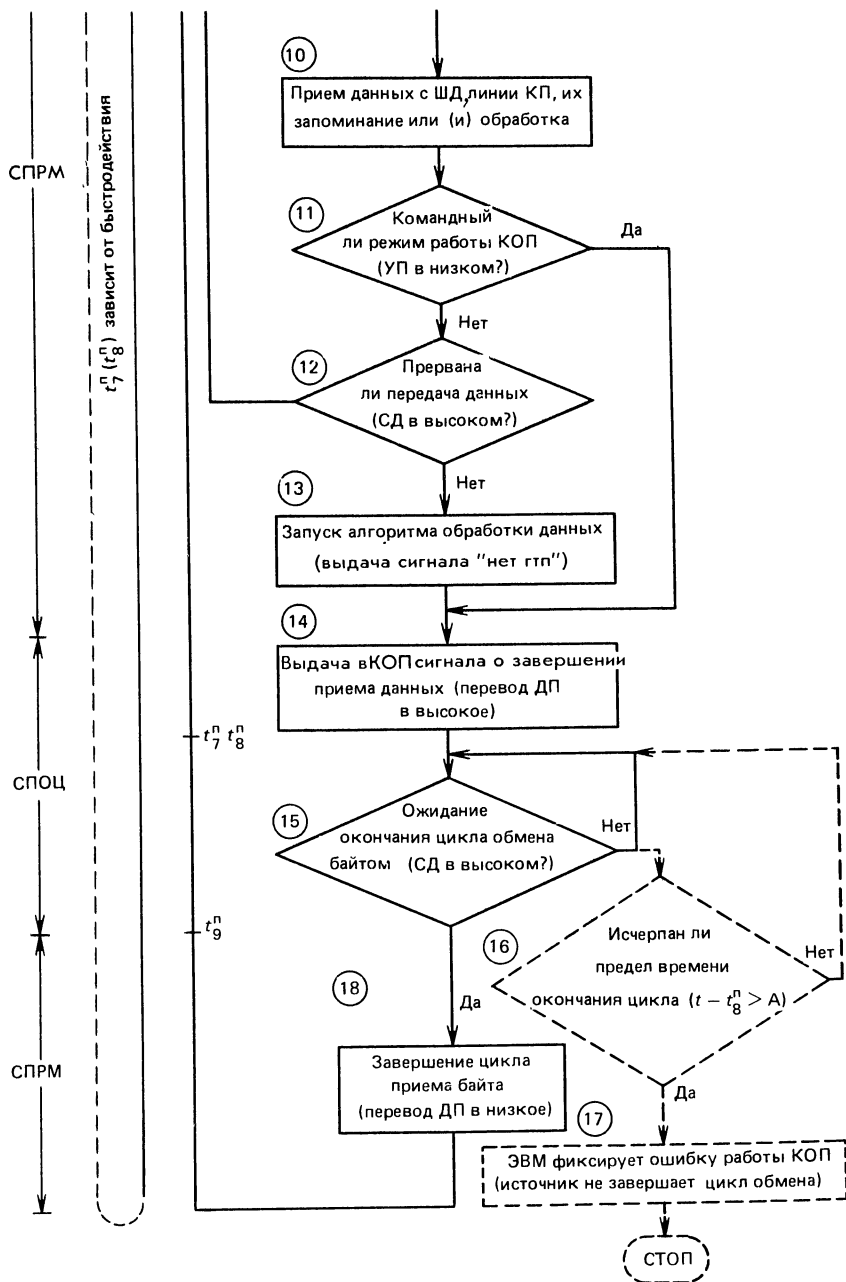
Другой способ адресации—принудительный перевод модуля в состояние СПАД по условию «прм и СКАК». Этот режим доступен только ЭВМ и предназначен для ее подготовки к приему данных от какого-либо модуля. Сообщение «прм» обычно инициируется управляющей АИС. Наиболее часто встречающаяся последовательность действий в этом случае следующая. Находясь в командном режиме, ЭВМ предписывает какому-либо модулю выдавать информацию в КОП, затем специальным оператором, встроенным в программу, посылает своей функции П местное сообщение «прм». После этого ЭВМ опять же по своей инициативе выходит из командного режима (переводит УП в высокое), чем активизирует состояние СПАК у себя. Последнее позволяет ей принять результаты измерений от назначенного прибора через КОП. Возможность адресации ЭВМ приемником с помощью выражения «прм и СКАК» вовсе не означает, что первый способ (МАП и СПРМ) к управляющему модулю неприменим. Программист может сам выбирать наиболее удобный для него

Рис. 2.18. Алгоритм работы источника при передаче информации:

$t$ —текущее время внутри каждого цикла (при проходе через  $t_0$  обнуляется);  $t_0, t_1, \dots, t_5$ —моменты, соответствующие обозначениям на рис. 2.17;  $T_1$ —лимит времени по табл. 2.8;  $A$ —константа, задаваемая управляющей программой АИС, блоки и связи, обозначенные штриховой линией, предотвращают «зависание» или «зацикливание» алгоритмов приема-передачи и реализуются только в ЭВМ









вариант адресации. Однако выдавать местное сообщение «прм» проще, а главное — значительно быстрее, чем передавать через интерфейс команды МАП.

Принудительным является также и третий способ адресации модуля на прием, сводящийся к выдаче местного сообщения «тпм». Этот переход реализуется в управляющих модулях. Послать сообщение «тпм» может только оператор. Для этого он должен переключить соответствующий тумблер, который чаще всего обозначается «тпм» и располагается на задней панели прибора. После переключения модуль всегда находится в состоянии СПАД или СПАК. Любые способы разадресации, предусмотренные в интерфейсе и описанные ниже, лишь теоретически на мгновения могут переводить функцию П с активным «тпм» в СПХХ. Режим «только принимать» необходим в двух практических приложениях. Первое — это постоянная регистрация с помощью принтера или магнитофона всех данных, проходящих через КОП (результаты измерений, данные о состоянии и коды управления режимами работы модулей, т. е. все, кроме команд, которые нужно не печатать, а исполнять). Вместо принтера или магнитофона (или перед ним), расположенного на значительных (более 20 м) расстояниях, может быть использована аппаратура передачи данных, например связь по телефону через модемы, специальные повторители магистралей КОП и др. Второе приложение режима «тпм» — так называемый бесконтрольный вариант АИС — рассмотрен ниже при описании функций И и ИР.

Согласно условиям работы интерфейса в любой момент в КОП может быть сколь угодно приемников. Если от ЭВМ поступает команда, например МАП=ЗН, далее МАП=2АН, а затем МАП=36Н, то три различных модуля, индивидуальные адреса которых соответственно ЗН, 0АН и 16Н (см. табл. 2.4), последовательно один за другим оказываются выбранными. Если теперь послать, скажем, команду ЗАП, то все три модуля, и только они, начнут измерять, генерировать сигналы и т. д. Важно и очевидно то, что передаваемый по КОП адрес чужого приемника никак не влияет на состояние СПАД в функции П или ПР. Поэтому в группе команд ГАП предусмотрен специальный код, равный ЗРН (команда НПМ), который соответствует запрещенному индивидуальному адресу 1РН (все пять адресных тумблеров в положении «1»). Передачей по КОП команды НПМ (выражение «НПМ и СПРМ» на рис. 2.5 и 2.6) всем адресованным приемникам предписывается сбрасывать адресацию, т. е. функция П или ПР во всех модулях должна принять состояние СПХХ. Такой способ разадресации (первый из трех возможных) является основным.

Второй способ разадресации — «нпм и СКАК» — инициируется и формируется таким же образом, как «прм и СКАК», также доступен только ЭВМ и т. д.

Третий способ — передача модулю команды МАИ (выражение «МАИ и СПРМ»). В этом случае прибор или ЭВМ должны перейти в состояние адресованного источника и одновременно снять режим адресованного приемника. На первый взгляд может показаться, что это логично: повышается быстродействие, не нужно сначала выдавать НПМ, а потом МАИ. Но в то же время разадресация по команде МАИ уменьшает полноту выполнения самодиагностики интерфейса КОП в модуле, так как вариант работы прибора по КОП «сам на себя» становится исключенным. Учитывая, что, во-первых, передача одной команды занимает не более миллисекунды, т. е. значительно меньше, чем, например, затраты времени на измерения, во-вторых, программное обеспечение многих ЭВМ автоматически предусматривает разадресацию приемников по команде НПМ и другие способы доступны только высококвалифицированному программисту и, в-третьих, самодиагностика — важнейший элемент подготовки АИС к работе, вариант перехода из СПАД в СПХХ по условию «МАИ и СПРМ» является наименее предпочтительным. Именно поэтому стандарт на интерфейс КОП допускает исключение такого способа разадресации, а функция П или ПР имеет четыре варианта реализации П1—П4 (ПР1—ПР4).

Варианты П1 и П2 запрещают разадресацию по «МАИ и СПРМ», а П3 и П4 — обязывают. Между собой П1 и П2, а также П3 и П4 отличаются отсутствием тумблера «тпм» в вариантах П2 и П4 и наличием — в П1 и П3. Последнее сделано для возможности упрощения схемотехники КОП в модулях. В подавляющем большинстве из них (по крайней мере, почти во всех

измерительных приборах) нет необходимости реализации режима «только принимать».

Кроме рассмотренных трех способов разадресации, выполняющихся только в командном режиме, функция П или ПР в любом модуле может быть переведена в состояние СПХХ по инициативе ЭВМ выдачей низкого ОИ. Прибору на переход из СПАК в СПХХ или из СПАД в СПХХ отводится лимит времени  $t_4 = 100$  мкс, превышение которого недопустимо.

Такой способ, так же как и «НПМ и СПРМ», обеспечивает разадресацию всех модулей в АИС, причем не только из состояния СПАД, как по команде НПМ, но и из СПАК. Это плюс. Однако условие «НПМ и СПРМ» задействовано только в одной интерфейсной функции П или ПР, только в одном переходе внутри этой функции — из СПАД в СПХХ. Выражение «ОИ и  $t_4$ » напрямую влияет на три функции и косвенно — еще на две (см. рис. 2.5—2.10 и 2.16). Следовательно, после выдачи низкого ОИ кроме разадресации приемников произойдут изменения состояний в других функциях, что может оказаться нежелательным.

Кроме того, управление линией ОИ доступно только ведущей ЭВМ (в многомашинных АИС). Ведомые ЭВМ, которые временно исполняют обязанности контроллера системы, не могут разадресовать приемники таким способом. Поэтому условие «ОИ и  $t_4$ » лишь номинально можно отнести к средствам разадресации. Основное назначение этого сигнала — привести интерфейс КОП в АИС в исходное состояние. Обычно низкое ОИ выдается единожды в начале работы программы. На первый взгляд «ОИ и  $t_4$ » дублирует импульс «вкл», который также переводит все функции интерфейса в исходное (см. рис. 2.5—2.11, 2.14—2.16). Однако на практике это не так. Все модули, даже если подать на них питание одновременно, обязательно установят свои интерфейсные функции и, следовательно, линии в исходное, но произойдет это в течение некоторого промежутка времени. Следовательно, не исключен вариант, что самый быстрый модуль успеет установиться в исходное и воспринять переходный процесс других модулей как какой-нибудь сигнал по КОП. В результате возможно выполнение непредсказуемых переходов и последствий. Для того чтобы в этом убедиться, достаточно по очереди включить те или иные приборы в сеть. Таким образом, выражение «ОИ и  $t_4$ » не дублирует сигнал «вкл», который не согласован по времени у различных модулей, а синхронно выдает предписание на установление интерфейса во всех модулях в исходное. Более того, за счет выдержки ОИ в низком в течение 100 мкс обеспечивается защита от неодновременности срабатывания схем в приборах.

Между выражениями для адресации, что соответствует переходу из СПХХ в СПАД, и для разадресации (из СПАД в СПХХ) отсутствует какая-либо корреляция. Например, если приемник был адресован по условию «прм и СКАК», то вовсе не обязательно его разадресовывать условием «нпм и СКАК». Переход в СПХХ из СПАД может быть выполнен любым из трех способов, а также по низкому ОИ. Более того, адресация через «тпм» вообще не имеет аналогичной разадресации. Если тумблер «тпм» включить и выключить, то функция П или ПР перейдет в состояние СПАД и останется в нем до тех пор, пока не будут переданы либо команда НПМ, либо МАИ, либо сигнал «нпм», либо низкое ОИ.

Функция ПР в отличие от П реализуется в модулях, предусматривающих двухбайтовую адресацию, и имеет две группы взаимосвязанных состояний (см. рис. 2.6 и табл. 2.6). Вторая группа (СППХ и СППА) предназначена для подготовки СПХХ к приему вторичного адреса. Если состояние СППА активно, то по команде МВА модуль становится адресованным на прием. Поэтому в функции ПР на переходе из СПХХ в СПАД вместо условия «МАП и СПРМ» используется «МВА и СПРМ и СППА», а «МАП и СПРМ» обеспечивает только переход из СППХ в СППА, т. е. подготовку модуля к приему ГВК. Кроме того, состояние СППА, и только оно, указывает модулю, что следующая команда из ГВК будет не командой ОПР или ЗПР (см. табл. 2.3), а адресом, и не адресом на передачу, а адресом на прием.

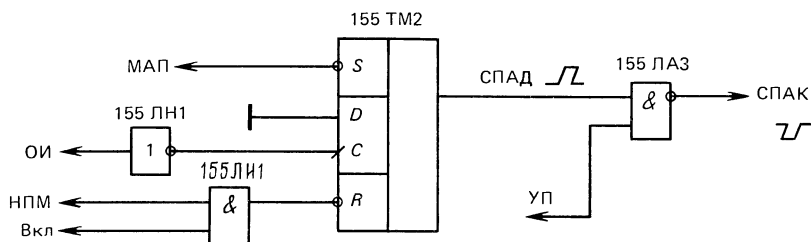
Если следующей командой, посылаемой по КОП, будет ГАК, ГУК, ГАИ или ГАП, т. е. ГПК, то функция ПР возвратится обратно в состояние СППХ

и исполнять вторичные команды не будет. Таким образом, любая команда ГПК, кроме МАП, приводит функцию ПР в исходное. Именно поэтому для перехода в СППХ нет необходимости дополнительно предусматривать условие «ОИ и  $t_4$ » или другие команды. Даже если какой-то модуль, который не нужен в следующем обмене, останется в состоянии СППА, то по команде МАП для другого модуля оно будет «обязано» стать неактивным.

Двухбайтовая адресация, регламентированная в функции ПР, всегда подразумевает последовательную выдачу двух команд – МАП и МВА, которые представляют собой одно целое и не допускают разделения. Если, например, между ними послать любую другую команду, адресация модуля на прием выполнена не будет, так как функция ПР перейдет из состояния СППА в СППХ и команда МВА будет проигнорирована.

Функции «источник» и «источник с расширением». Функции И и ИР предназначены для определения порядка перехода модуля в режим выбранного (адресованного) источника, а также типа информации, которую должен выдавать модуль в КОП. То ли это будет информация о результатах измерений, самотестирования, положении органов управления на передней панели, то ли сконцентрированные данные о внутреннем состоянии прибора, передаваемом в одном байте, где каждый бит является информационным. Этот байт имеет название «БСТ и ОБЗ» («байт состояния») ЛД7, ЛД5—ЛД0 и бит «обслуживание запрашивается» ЛД6) (или сокращенно просто БСТ.

Во-первых, здесь отсутствуют выражения, аналогичные «прм и СКАК» и «нпм и СКАК». Это сделано для гарантии от случайного возникновения в КОП двух источников, один из которых был бы адресован по «МАИ





Требование единственности активного источника в КОП объясняет и уже упомянутый ранее, но не раскрытый при описании функций П и PR бесконтрольный вариант АИС, характеризующийся обычно наличием двух приборов. Один из них адресован источником с помощью тумблера «тип», другой — приемником — «типм». Этого достаточно (поскольку УП в высоком), чтобы источник выдавал данные, а приемник их принимал, и, следовательно, ЭВМ

не нужна. Единственным ее назначением могло бы быть управление линией УП для разрешения или запрещения, например, распечатки результатов измерений на принтере, который работает в режиме «тпм». Однако такое использование ЭВМ слишком расточительно. Обычно в приборах-измерителях для режима «тпд» предусматривается тумблер «печатать», при включении которого формируется сообщение «инб» и результаты печатаются, а при выключении печать прекращается (см. рис. 2.17 и 2.18). Таким образом, человек-оператор по своему усмотрению может управлять режимом выдачи информации. В бесконтрольном режиме допустимо сколько угодно приемников. Суть работы от этого не меняется, хотя на практике такой вариант маловероятен.

Важнейшим назначением функций И и ИР является разделение режима выдачи информации на обычные данные и данные о состоянии модуля (БСТ). Для этого предусмотрено состояние СПСА и независимая группа состояний СХПС и СПСО. Если источник был переведен в СИАД (адресован), то после появления высокого УП он может перейти либо в СИАК, либо в СПСА, что зависит от активности состояния СПСО (см. рис. 2.7 и 2.8). Состояние СПСА означает, что необходимо выдавать БСТ, СИАК — обычные данные.

Чтобы подготовить прибор к выдаче БСТ, необходимо предварительно передать команду ОПО, т. е. выполнить переход из СХПС в СПСО по условию «ОПО и СПРМ». Команда ОПО может поступить в КОП в любое время: и до МАИ, и после. Более того, эта команда обеспечивает перевод всех модулей АИС в состояние готовности к выдаче БСТ. Если даже впоследствии БСТ будет выдан и выполнены другие операции, в том числе разадресация приборов как источников, но не было низкого ОИ или команды ЗПО, то очередная адресация любого модуля источником все равно приведет к выдаче БСТ. Ничего, кроме включения-выключения питания, сигнала очистки интерфейса и команды ЗПО, не может перевести источники в режим выдачи обычных данных.

В отличие от функций П и ПР переход из СИАД в СИАК или в СПСА (против из СПАД в СПАК) не нормирован по времени и может длиться сколько угодно долго. Это обусловлено необходимостью завершения внутрисприборных операций, так как обычно именно их результатов ожидает ЭВМ. Для приема, поскольку он подразумевает изменение режима работы модуля, нет необходимости ожидать завершения старых операций, за исключением особых случаев, оговоренных при описании функции СП.

В функции ИР по сравнению с И для перехода из СИАД в СИХХ предусмотрено дополнительное условие «ДВА и СИПА и СПРМ» (ДВА — «другой вторичный адрес»), с помощью которого можно вторичным адресом (не передавая первичный) переназначить источник информации при условии, что он находится среди субблоков одного и того же каркаса.

Функции И и ИР имеют восемь различных способов реализации (табл. 2.9), что обусловлено полным числом комбинаций из трех исключаемых возможностей этих функций. Первая — исключение режима выдачи БСТ (нет СПАСА, СХПС и СПСО). Ряд модулей может быть, например, всегда мгновенно ко всему

Таблица 2.9  
Варианты реализации функций И и ИР

Вариант реализации функций И и ИР	Наличие режима		
	тпд	выдачи БСТ	разадресации по МАП
И1 (ИР1)	Да	Да	Нет
И2 (ИР2)	Нет	Да	Нет
И3 (ИР3)	Да	Нет	Нет
И4 (ИР4)	Нет	Нет	Нет
И5 (ИР5)	Да	Да	Да
И6 (ИР6)	Нет	Да	Да
И7 (ИР7)	Да	Нет	Да
И8 (ИР8)	Нет	Нет	Да

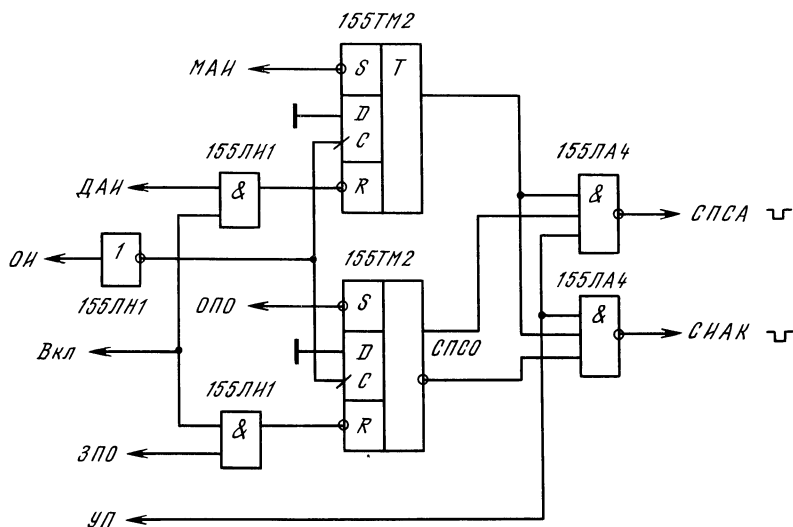


Рис. 2.22. Схема функции И2

готов, не иметь аварийных режимов, т.е. всегда находиться в нормальном состоянии. Естественно, что в таком случае БСТ будет лишним. Вторая и третья исключаемые возможности—это режим «тпд» и разадресация по команде МАП. Здесь причины те же, что и в функциях П и ПР. Простейший пример схемотехники функции И приведен на рис. 2.22.

**Функция «синхронизация приема».** Функция СП регламентирует алгоритм приема байта, а также правила его запуска и останова. Состояния СПНГ, СПГТ, СПРМ и СПОЦ—это алгоритм приема. Выражения для перехода из СПХС в СПНГ, а также из любого состояния в СПХС—правила запуска и останова этого алгоритма.

Особенностью функции СП является совмещение в ней двух алгоритмов приема байта—приема команд (информация под низким УП) и приема данных (под высоким УП). Эти алгоритмы (рис. 2.23, 2.24) имеют один и тот же набор состояний, но отличаются правилами перехода из одного состояния

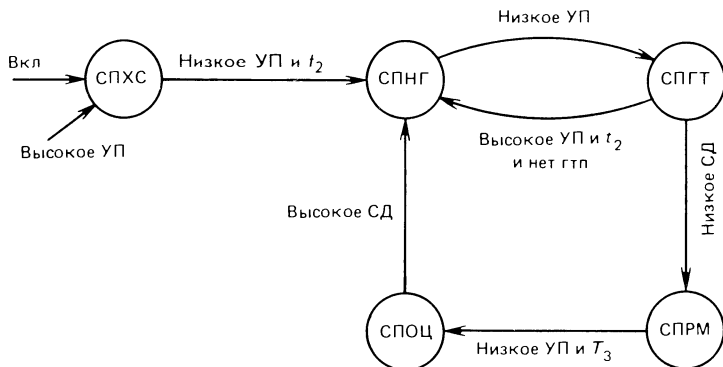


Рис. 2.23. Алгоритм приема команд

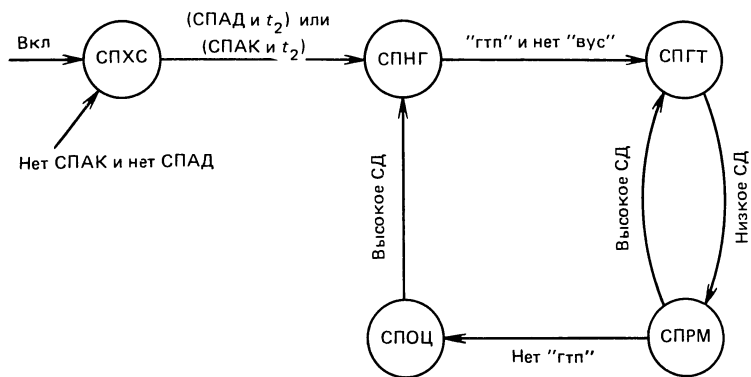


Рис. 2.24. Алгоритм приема данных

в другое, а также правилами запуска и останова. Логическая сумма этих двух диаграмм дает привычный вид функций СП, рассматриваемый в научно-технической литературе и приведенный на рис. 2.10.

Исходным состоянием функции СП является СПХС. В нем, как следует из табл. 2.6, модуль не оказывает влияния на работу интерфейса КОП в АИС. В линии ГП и ДП должны выдаваться высокие уровни. В СПХС прибор будет находиться в случае, если нет командного режима (низкого УП) и при этом он не адресован приемником. Выдачу в КОП высоких ГП и ДП без ошибки можно считать формальным воздействием на интерфейс, так как высокий уровень по законам электроники всегда подавляется низким. Если другой модуль в этот момент принимает данные, переводя в соответствии с алгоритмом приема (см. рис. 2.19) линии ГП и ДП то в низкое, то в высокое, высокие уровни в этих линиях, выдаваемые приборами, находящимися в СПХС, не мешают и не оказывают никакого влияния на алгоритм обмена.

Независимо от того, адресован модуль или нет, при появлении низкого УП в нем запускается алгоритм приема байта (в данном случае приема команд). Время, отводимое на этот переход, не превышает  $t_2 = 200$  нс. Запуск алгоритма приема всегда происходит с блока «Начало» (см. рис. 2.19), т. е. с состояния СПНГ. В командном режиме алгоритмы приема запускаются одновременно во всех модулях АИС, включая управляющий (ЭВМ), и устанавливается режим «один источник — много приемников». Источник выдает команды, все приемники их принимают.

На этом примере удобно рассмотреть принцип коллективности линий ГП и ДП, реализованный в интерфейсе КОП, который обеспечивает надежность передачи байта во все приемники независимо от их быстродействия и проявляется в случае, когда число приборов, принимающих информацию, более единицы. Суть принципа коллективности иллюстрирует рис. 2.17 (штриховая линия в импульсах ГП и ДП). Линия ГП переходит в высокое (а источник анализирует эту линию и только по ее состоянию определяет готовность приемника к приему байта) тогда, и только тогда, когда все до одного модуля начнут выдавать в ГП высокий уровень. Если хотя бы один не готов, находится в СПНГ и выдает в ГП низкий уровень, то линия ГП продолжает оставаться в низком. Следовательно, линия ГП — это логическое И готовности всех приемников (первый готов, и второй готов, и третий готов, и т. д., и последний готов). Источник, передавая байт, всегда ожидает готовности всех приемников. Аналогично реализован процесс завершения приема байта через линию ДП.

Кроме низкого УП алгоритм приема байта (в данном случае байта данных, а не команды) должен запускаться после перевода УП в высокое при условии, если модуль адресован приемником («СПАД и  $t_2$ » на рис. 2.24). Время на запуск алгоритма приема данных также не должно превышать  $t_2 = 200$  нс.

Условие «СПАК и  $t_2$ », которое, как и «СПАД и  $t_2$ », обеспечивает переход из СПХС в СПНГ, необходимо для устранения неопределенности в работе внутренних схем прибора. Дело в том, что появление высокого УП в случае, если модуль адресован приемником, вызывает не только запуск алгоритма приема, но и переход из СПАД в СПАК в функции П. При отсутствии условия «СПАК и  $t_2$ », дублирующего «СПАД и  $t_2$ », возможен сбой на переходе из СПХС в СПНГ, связанный с исчезновением сигнала СПАД, инициирующего этот переход.

Таким образом, в КОП предусмотрено только два способа запуска алгоритма приема байта: низкое УП или высокое УП и СПАД. В первом случае запускаются алгоритмы приема байта во всех без исключения модулях АИС, во втором — только в адресованных на прием.

После запуска алгоритм приема байта работает в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 2.19. Если принимаются команды, то время на переход из СПРМ в СПОЦ (блоки 9—13 на рис. 2.19) ограничено величиной  $T_3$ , хотя и не нормированной в стандарте, но используемой в смысле «не менее». Это означает, что еще в состоянии СПРМ все поступающие команды должны быть идентифицированы модулем и начата отработка соответствующих переходов в других интерфейсных функциях (например, «МАП и СПРМ» и др.). Так как прием команд осуществляется всеми модулями АИС параллельно, то исключительно важно, чтобы время  $T_3$ , а точнее, время перехода из СПРМ в СПОЦ в каждом приборе было минимально возможным. Это легко проиллюстрировать таким примером. Пусть АИС содержит десять модулей, девять из которых принимают команды за 1 мкс, а один — за 1 с. В результате скорость обмена из-за принципа коллективности линии ДП будет не менее секунды, т. е. ЭВМ, передавая МАП, МАИ или другую команду модулю с быстродействием 1 мкс, затратит тем не менее целую секунду. Все команды будут проходить через КОП «черепашьими шагами», и производительность АИС значительно уменьшится (для справки в командном режиме интерфейс КОП в среднем находится до 50% от общего времени работы АИС).

Как следует из рис. 2.23, в условиях приема команд местное сообщение «гтп» не используется, значит, к приему команд модуль должен быть готов всегда. Нет необходимости анализировать наличие сигнала «вус» (это относится только к ЭВМ), так как он предназначен для выделения момента выдачи низкого УП, а в данном случае низкое УП уже есть. По той же причине (только не «вус», а «вуа») в командном режиме отсутствует возможность возврата из СПРМ в СПГТ через высокое СД. Суть алгоритма приема команд заключается в том, что для поддержания его работоспособности необходимо только наличие низкого УП. Так осуществляется переход из СПНГ в СПГТ, так же и из СПРМ в СПОЦ. Оставшиеся два перехода (СПГТ — СПРМ и СПОЦ — СПНГ) зависят от источника и не имеют отношения к работе схем СП в модуле в случае приема команд и данных. Прием команд образно можно сравнить с «зеленой улицей» для автомобилей, где низкое УП — это зеленый свет светофора и местные сообщения на всех «перекрестках» не останавливают его работу.

Алгоритм приема данных отличается от алгоритма приема команды отсутствием необходимости ограничивать время на переходы СПНГ — СПГТ и СПРМ — СПОЦ. Здесь, если АИС также содержит десять приборов (девять принимают, только уже не команды, а данные, за 1 мкс, а один — за 1 с), ситуация совершенно иная. Обмен с быстродействующими модулями (любым из девяти) занимает примерно 1 мкс, так как состояние СПХС в «медленном» приборе не влияет на процедуру обмена. Только для такого прибора время приема-передачи растягивается до секунд. Однако это уже всего 1/10 часть АИС, а если учесть, что на режим приема данных приходится 50% всего времени, то 1/20. Низкое быстродействие модуля в режиме приема данных хотя и снижает общие показатели производительности АИС, но на порядок меньше, чем в режиме приема команд.

Для поддержания работоспособности алгоритма приема данных необходима правильная организация сигнала «гтп». Это сообщение должно формироваться



внутренними (не интерфейсными) узлами модуля по следующему правилу. Наличие «гтп» соответствует состоянию СПГТ. После перехода в СПРМ и приема байта с ШД во внутренний регистр или ячейку памяти «гтп» должно быть снято, т. е. одновременно с переходом в СПОЦ. В течение всего времени обработки принятого байта сообщение «гтп» должно отсутствовать, а по окончании обработки байта—появиться вновь. Таким образом, «гтп»—это импульсный сигнал (см. рис. 2.17), тактирующий работу алгоритма приема байта данных.

Алгоритм приема и команд, и данных должен продолжаться по циклу СПНГ—СПГТ—СПРМ—СПОЦ—СПНГ—СПГТ—... до тех пор, пока его не остановит ЭВМ. Условием останова является выражение «высокое УП и нет СПАК и нет СПАД». Останов алгоритма приема байта может поступить в любой момент, в любом месте алгоритма приема и означает возврат функции СП в состояние СПХС. Рассмотрим четыре возможные комбинации, связанные с прерыванием или изменением циклической работы алгоритма приема. Первая—модуль не адресован, УП—в низком, работает алгоритм приема команд и появляется высокое УП. Вторая—все то же, но модуль адресован. Третья—модуль адресован, работает алгоритм приема данных и появляется низкое УП. Четвертая—модуль адресован, работает алгоритм приема данных и пропадает СПАК и СПАД (это в соответствии с функцией П эквивалентно появлению низкого ОИ).

В первом и четвертом случаях имеет место полный останов алгоритма приема с переходом в СПХС, во втором и третьем—всего лишь переключение с алгоритма приема команд на алгоритм приема данных и наоборот соответственно. При нормальной работе АИС используются только первая, вторая и третья комбинации.

Вторая—это, например, передача модулю команды МАП и затем перевод УП в высокое. Во время передачи МАП УП было в низком, ЭВМ-источник должна была довести цикл передачи до конца, т. е. перевести СД в высокое и дожидаться низкого ДП (см. рис. 2.18), и только затем выдавать высокое УП, поэтому функция СП в адресованном модуле может находиться либо в СПНГ, либо в СПГТ. Если высокое УП застало приемник в СПГТ, а он не готов к приему данных, то по условию «высокое УП и нет гтп и  $t_2$ » функция СП перейдет из СПГТ в СПНГ. Процесс передачи данных не должен начинаться раньше чем через 200 нс после выдачи высокого УП. Это обеспечивается работой функции СИ. Если высокое застало приемник в СПНГ, то вообще никаких изменений в цикле алгоритма приема (заметных внешне по состояниям линий ГП и ДП) не происходит. Выполняется только переход из режима приема команд в режим приема данных.

Третья комбинация—это переключение адресованного модуля на прием команд. Нормально, когда выдача низкого УП происходит синхронно, т. е. в состоянии СПНГ. Но это применимо только для функции СП в ЭВМ. Отследить момент, когда функция СП в другом модуле находится в СПНГ можно, но для удержания от перехода модуля по «гтп» в СПГТ у ЭВМ нет средств. Низкое УП для всех остальных модулей может поступить и в СПНГ, и в СПГТ. В любом случае сбоев не должно быть так как низкое УП—необходимое и достаточное условие для перехода в СПГТ в любом приборе.

Первая комбинация—это перевод УП в высокое после передачи НПМ и адреса другого приемника. Последний по второй комбинации переключается на цикл приема данных, а разадресованный переходит в СПХС.

Все остальные случаи прерывания или изменения цикла приема байта не гарантированы от потери информации, проходящей через КОП, но не должны приводить к так называемому «зависанию» работы модулей. Обязательно должен произойти переход либо в СПГТ (переключение), либо в СПХС (прерывание).

В стандарте на диаграмме функции СП имеет место переход из СПНГ в СПОЦ по низкому СД. Его назначение—упрощение функции СП. Но применение данного варианта допустимо только в случае, когда АИС состоит из модулей (и ЭВМ в том числе), ориентированных на такое усечение. Иначе изменение цикла приема приведет к невозможности работы всей системы в целом или сбоям в функционировании КОП. Следовательно, такую реализацию алгоритма приема предусматривать в приборах нецелесообразно.

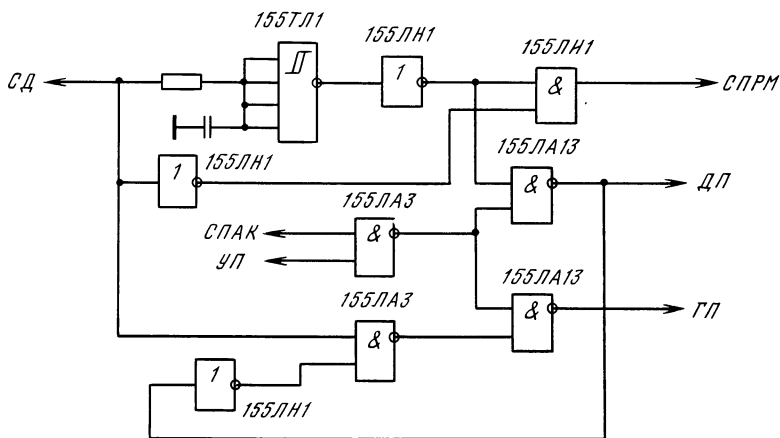


Рис. 2.25. Схема функции СП1

Особенностью функции СП в режиме приема данных (ни в коем случае не при низком УП) является предусмотренная и регламентированная стандартом на КОП возможность сигнализации ЭВМ-источнику о занятости модуля внутри-приборными операциями через состояние СПНГ (ГП и ДП в низком). Например, электронно-счетный частотомер ЧЗ-64 запущен на измерение частоты видеоимпульсов. Если в период счета ему выдать МАП, а затем перевести в режим приема данных (дать высокое УП), то он сможет находиться в состоянии СПНГ столько, сколько понадобится для завершения операций по определению частоты сигнала. Все это время в КОП будут выдаваться низкие ГП и ДП. По окончании счета появляется «гтп», происходит переход в СПГТ, и ЭВМ по высокому ГП принимает информацию о готовности результатов измерений, которые можно будет получить, назначив ЧЗ-64 источником данных.

Вариант схемотехники функции СП приведен на рис. 2.25.

**Функция «синхронизация передачи источника».** Функция СИ регламентирует алгоритм передачи байта, а также порядок его запуска и останова. Состояния СИГР, СИЗД, СИПД и СИОЦ — это алгоритм передачи. Выражения для перехода из СИХС в СИГР, из СИХО в СИОЦ, а также в состояния СИХС и СИХО — правила запуска и останова этого алгоритма. В отличие от функции СП в СИ определен единый алгоритм для передачи как команд, так и данных, в том числе БСТ. Правила его запуска и останова для командного режима и режима обмена данными различны. В обычном неуправляющем модуле (не в ЭВМ), например измерительном приборе, алгоритм передачи команд невозможен, а алгоритм передачи данных и диаграмма функции СИ принимают простой и понятный вид (рис. 2.26).

Исходным состоянием функции СИ является СИХС (табл. 2.5—2.8, рис. 2.9 и 2.26). В нем, как следует из табл. 2.6, модуль не оказывает влияния на работу КОП в АИС. В линию СД, а также ШД и линию КП, которыми управляет функция СИ (см. табл. 2.6), выдаются высокие уровни.

В состоянии СИХС модуль оказывается в случае, если от контроллера нет сигнала на запуск алгоритма передачи. Таким сигналом является следующая последовательность действий: во-первых, адресация модуля источником (СИАД), во-вторых, выдача высокого УП, в-третьих, время (см. функцию И или ИР), необходимое модулю для перехода из СИАД в СИАК или СПСА, что служит импульсом для запуска алгоритма передачи данных. Это единственный способ запуска алгоритма передачи данных. Он в равной степени относится и к ЭВМ, и к обычному прибору. Даже свою собственную функцию СИ ЭВМ может запустить на передачу данных только таким способом (см. функции И и ИР,

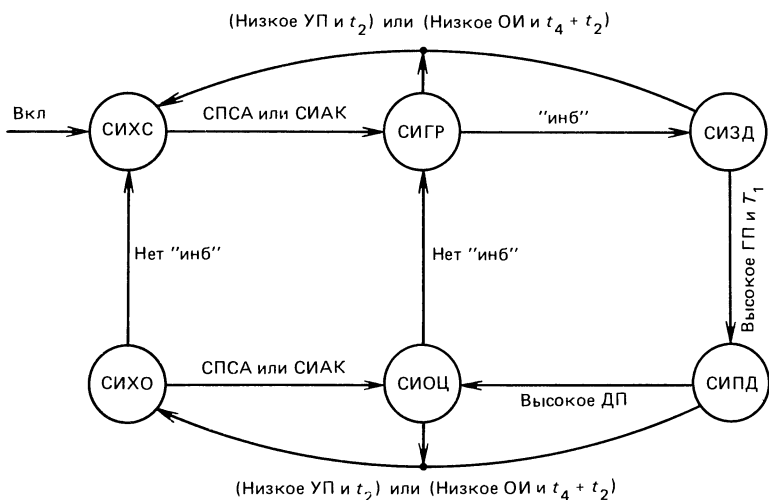


Рис. 2.26. Алгоритм передачи данных в неуправляющем модуле

в которых отсутствуют местные сообщения, инициируемые ЭВМ и обеспечивающие адресацию ее источником).

Алгоритм передачи команд (но не данных) запускается в ЭВМ, минуя предварительную адресацию. Для этого необходимо и достаточно состояния СКАК в функции К. Это командный режим, когда все остальные модули принудительно становятся приемниками. Очевидно, что и в данном случае источник информации в КОП также единственный.

После запуска алгоритм передачи байта работает в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 2.18. Местное сообщение «инб» тактирует работу алгоритма и обеспечивает переходы из СИОЦ в СИГР и из СИГР в СИЗД. Переход СИЗД—СИПД—СИОЦ зависит от состояний функции СП в приемниках и при нормальной работе интерфейса всегда выполняется. Импульсом «инб» управляют внутренние схемы модуля (см. рис. 2.17 и 2.18). Его фронт появляется одновременно с окончанием формирования на ШД передаваемой информации, а длительность должна быть достаточной, чтобы обеспечить переход из СИГР в СИЗД.

Алгоритм передачи и команд, и данных продолжается до тех пор, пока его не остановит ЭВМ. Условием останова является выражение: (низкое УП и нет СКАК и нет СКПД и  $t_2$ ) или (высокое УП и нет СИАК и нет СПСА и  $t_2$ ), которое приписано (см. рис. 2.9) всем четырем состояниям алгоритма передачи. Для алгоритма передачи данных это эквивалентно появлению низкого УП или ОИ (см. рис. 2.26), для алгоритма передачи команд—высокого УП или также низкого ОИ. Останов (прерывание) алгоритма передачи возможен в любой момент и означает возврат в состояние либо СИХС, либо СИХО. Последнее по своему воздействию на интерфейс идентично СИХС, но отличается от него признаком синхронного прерывания передачи. Синхронное прерывание означает, что если ЭВМ вновь запрашивает данные от источника (безразлично, через какое время), изменяя режим его работы, то модуль должен продолжить передачу со следующего байта данных. Синхронное прерывание—это останов алгоритма передачи в состоянии СИПД или СИОЦ, переход в СИХО, в котором внутренним схемам модуля должно быть выдано сообщение о синхронном прерывании передачи и дальнейшем переходе в СИХС или СИОЦ (чаще в СИХС, так как «инб» должно отсутствовать).

Асинхронное прерывание—это останов алгоритма передачи в состоянии СИЗД или СИГР. Если после асинхронного прерывания вновь запросить данные от источника, то он имеет право установить либо тот же байт, на котором

была прервана передача, либо следующий за ним. Поэтому при асинхронном прерывании не гарантируется исключение возможности потери байта информации.

Практически реализация синхронного прерывания может быть осуществлена в модулях АИС простейшим способом. Для этого достаточно, чтобы счетчик номера очередного байта, предназначенного для передачи, изменялся в состоянии СИЗД. Тогда останов в СИПД или СИОЦ всегда обеспечит новую передачу со следующего после прерванного байта данных.

Приведем пример синхронного прерывания. Осциллограф С9-5 переведен в режим однократного запуска, запуск произведен, было считано 25 байтов, затем от ЭВМ без выдачи высокого ДП (т. е. в состоянии СИПД С9-5) поступает низкое УП. В дальнейшем осциллограф был разадресован как источник информации (в том числе, может быть, даже по ОИ и  $t_4$ ) и были обработаны принятые данные. По результатам обработки запущен на измерение какой-нибудь другой прибор, принятый от него данные, вновь адресован источником С9-5 и УП переведено в высокое. Функция СИ в осциллографе из СИХС переходит в СИГР, в нем же определяется номер байта, предназначенного для передачи, 26-й байт устанавливается на ШД, и далее по циклу. Если во время ожидания возобновления передачи в осциллограф передать данные на изменение режима работы и (или) запустить его на измерения, то после возобновления передачи он выдаст информацию не с 26-го, а с первого байта данных, так как это уже новый результат. Счетчик номера передаваемого байта при изменении режима работы будет сброшен в единицу. Если бы назначенным режимом работы осциллографа были не однократные, а многократные (периодические с автозапуском) измерения, то синхронное прерывание вообще не имело бы смысла из-за сброса счетчика номера передаваемого байта в единицу на каждом новом измерении. Вот почему прерывание-возобновление работы функции СИ должно быть всегда увязано с работой счетчика номера передаваемого байта в модуле.

Синхронное прерывание как средство защиты от потери информации — основная особенность функции СИ и имеет смысл только тогда, когда данные принимает ЭВМ (прибор — источник, ЭВМ — приемник). Если эти данные одновременно с ЭВМ поступают в какое-либо другое устройство, то выполнение алгоритма синхронного прерывания тоже возможно, но уже не гарантирует потерю информационного байта. Как следует из рис. 2.18 и 2.26, длительность состояния СИОЦ (в котором цикл передачи завершен) определяется только быстродействием источника и не зависит от линий ГП и ДП, управляемых приемником (ЭВМ). Поймать этот момент в общем случае нельзя. Кроме СИОЦ синхронный останов передачи допустим в СИПД. Но в СИПД цикл не завершен, и ЭВМ через ДП (сама удерживая ее в низком) не может узнать о том, принял ли этот байт второй приемник. Поэтому существует опасность, что прерывание будет хотя и синхронным, но второй приемник принять байт не успеет. Синхронное прерывание передачи данных доступно только в режиме «один источник, один приемник» и только в состоянии СИПД. Для его выполнения ЭВМ должна принять байт с ШД, обработать его и до выдачи высокого ДП выставить низкое УП, после чего произойдет переход в СКАК.

Простейший пример реализации схемы для функции СИ в неуправляющем модуле приведен на рис. 2.27.

**Скорость обмена.** Одной из основных характеристик интерфейса КОП, как и любого другого интерфейса, является скорость обмена, т. е. та самая величина, которая измеряется байтами в секунду. Время приема-передачи байта (обмена байтом) в КОП зависит от быстродействия как источника, так и приемников. Это наглядно иллюстрируется диаграммами СИ и СП (см. рис. 2.9 и 2.10). Например, в СП от быстродействия приемника зависят только переходы из СПНГ в СПГТ и из СПРМ в СПОЦ, а из СПГТ в СПРМ и из СПОЦ в СПНГ — от источника. Аналогичная ситуация и с функцией СИ.

Время обмена байтом в КОП равно длительности одного цикла приема-передачи. Оно не является алгебраической суммой времени, в течение которого источник находится в состояниях СИГР, СИЗД и СИОЦ, а также приемник в СПНГ и СПРМ, так как эти состояния существуют параллельно друг другу.

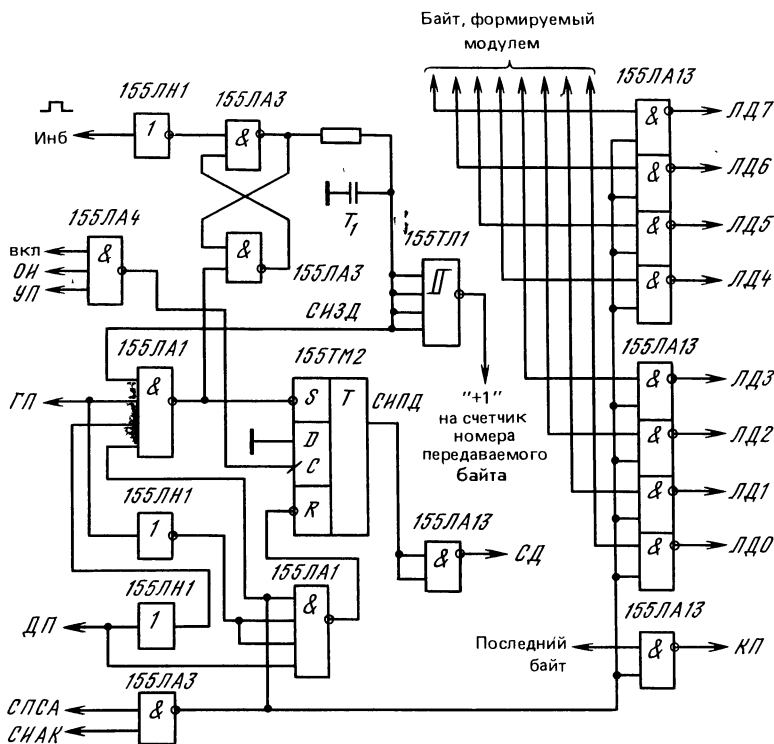


Рис. 2.27. Схема функции СИ1

Из рис. 2.28 следует, что  $t_{\delta} = t_n + t_{\pi} = t_{n1} + t_{n2} + t_{n1} + t_{n2}$ . Именно исходя из характеристики  $t_{\delta}$  вычисляются скоростные показатели КОП, в том числе и предельная скорость 1 Мбайт/с.

С учетом того, что в КОП может проходить прием-передача как команд, так и данных, а также реализован принцип коллективности на линиях ГП и ДП, скорости обмена изменяются от режима к режиму. Так, скорость передачи команд равна  $t_{\pi}$  командного режима источника плюс  $t_n$  самого медленного приемника, скорости обмена данными с различными приемниками и источниками зависят от их быстродействия и быстродействия алгоритмов приема и передачи данных в ЭВМ и т. д. Поэтому производительность интерфейса КОП — аппаратно зависимая величина и в целом даже для конкретной АИС может быть оценена лишь приблизительно.

**Функция «очистить устройство».** Функция СБ предназначена для установки органов управления, регистров, процессора, других функциональных блоков и элементов модулей в одно и то же заранее определенное (исходное) состояние с помощью интерфейсной команды СБУ или СБА (см. табл. 2.3, 2.6 и рис. 2.12). Если по КОП передается СБУ, то в исходное состояние устанавливаются все без исключения модули, в которых эта функция реализована, если СБА — то только тот модуль или несколько модулей, которые предварительно были адресованы приемникам (функция П или ПР которых находится в СПАД). Передача СБА, например, после НПМ не приводит к установке в исходное ни одного прибора.

Под исходным состоянием прибора подразумевается такое положение его органов управления, состояние внутренних схем и узлов, при которых обес-

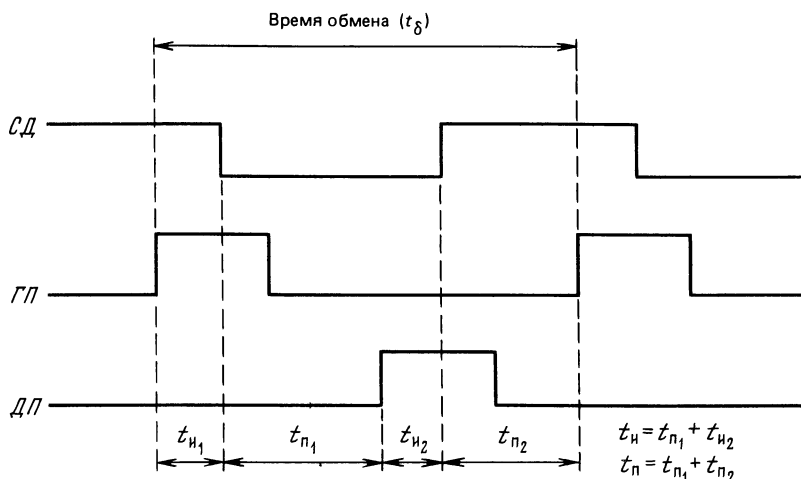


Рис. 2.28. Метод определения скорости обмена байтом в КОП

печивается нормальная работа в наиболее простом режиме. Часто исходным является состояние, которое наступает после включения тумблера «сеть» на приборе и окончания самокалибровки и самотестирования. Логично, если самотестирование и самокалибровка не будут начинаться по команде СБУ или СБА, так как эти процессы длительные, а идея функции СБ—в быстром переводе модуля в исходный режим с помощью только одного байта. Естественно, что в исходное состояние прибор может быть переведен с помощью выдачи целого списка кодов, которые обеспечат такой же режим, что и по командам СБА или СБУ. Но в этом случае понадобится значительно больше времени. Исходным может быть и любое другое состояние модуля, выбранное конструктором и регламентированное в техническом описании прибора, например отключение внутренних цепей генератора импульсов от выходного измерительного разъема.

Стандарт на интерфейс КОП допускает две возможные реализации функции СБ в модулях—СБ1 и СБ2. Реакция на СБУ предусматривается в обоих вариантах, а на СБА—только в СБ1. Найти практическое применение функции СБ2 достаточно трудно. Отсутствие СБ1 (выборочного сброса) приводит к необходимости установки модуля в исходное состояние только командой СБУ, а значит, и все другие приборы в АИС также будут сброшены, что не всегда допустимо.

Особенность схемотехники функции СБ1 (рис. 2.29), предусмотренная в стандарте, заключается в существовании состояния ССБА в течение очень короткого промежутка времени (не более СПРМ). Внутренние схемы модуля должны успеть захватить импульс, равный по длительности времени существования ССБА, и начать исполнение соответствующих действий. Крайне нежелательно ожидать окончания сброса в СПРМ (не выдавать высокое ДП), так как это приведет к снижению показателей производительности АИС в целом.

После включения питания в модуле функция СБ устанавливается в состояние ССБХ, так как, по крайней мере, отсутствует СПРМ. То же происходит и по сигналу «низкое ОИ и  $t_4$ ».

**Функция «запуск устройства».** Функция ЗП предназначена для определения момента, когда прибор начинает или должен начинать измерения, генерацию и т. д. в зависимости от его назначения в АИС (рис. 2.30). Для этого используется команда ЗАП, на которую реагирует один или несколько модулей, предварительно адресованных приемниками (см. табл. 2.3, 2.6 и рис. 2.13). Команда ЗАП в измерительных приборах эквивалентна нажатию на клавиатуре модуля кнопки «Пуск». Это позволяет не просто измерять параметры исследуемых сигналов,

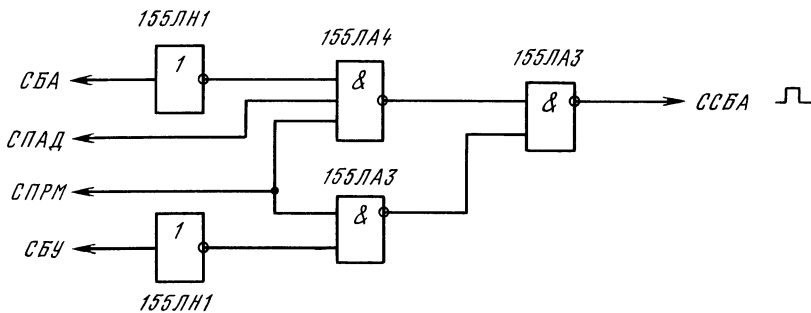


Рис. 2.29. Схема функции СБ1

а измерять их в строго определенный момент в соответствии с алгоритмами работы системы контроля объекта. Использование команды ЗАП обеспечивает нажатие кнопки «Пуск» одновременно в нескольких модулях, что невозможно сделать вручную. Этим достигается синхронизация измерительных ресурсов модулей.

Если прибор переведен в режим однократных измерений, то с помощью функции ЗП облегчается процесс считывания данных. Так, получив ЗАП, модуль выполняет предписанную работу единожды и переходит в режим ожидания новых инструкций от КОП, не проводя циклических измерений. Результат измерений не обновляется, а хранится только сформированный по команде ЗАП. Теперь ЭВМ в любое удобное время может считывать данные с этого прибора, не приспособливаясь к внутреннему циклу его работы. Такой режим функционирования модулей наиболее часто встречается в практических приложениях.

**Функция «дистанционное/местное управление».** Функция ДМ предназначена для предотвращения несанкционированного доступа оператора к работе АИС через органы ручного управления модулями. С помощью этой функции регламентируются правила блокировки передней панели приборов, когда при нажатии расположенных на ней кнопок или переключении тумблеров режим работы модуля не изменяется. Однако алгоритм работы АИС может предусматривать необходимость в обратном, т. е. умышленное управление прибором вручную. Поэтому в функцию ДМ введены также правила перевода устройства на ручное управление.

Очевидно, что заблокировать, например, тумблер «Сеть» или предотвратить отстыковку кабелей, а также некоторые преднамеренные действия оператора практически невозможно. В данном случае основное назначение функции выполняется лишь частично — предусмотрена защита от случайных, но не специальных внешних вмешательств в работу АИС.

Кроме основного назначения функция ДМ облегчает проектирование программы внутренней работы модулей. Так, если прибор находится в состоянии дистанционного управления (СДСТ или СДСЗ на рис. 2.11), то он управляется через КОП, а если в СМСТ или СМЗП — оператором. В первом случае игнорируется ручное управление (как раз то, что именуется блокировкой передней панели), во втором — данные, поступающие из КОП. Отсюда следует основной вывод, связанный с функцией ДМ: если прибор находится в состоянии СМСТ или СМЗП, то посылаемые ему коды на переключение режима не должны

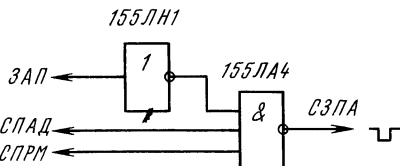


Рис. 2.30. Схема функции ЗП1

приниматься к исполнению. Необходимо только синхронизировать прием этих данных, но ни в коем случае не обрабатывать их, так как функция СП — принадлежность интерфейса и не зависит от состояний функций ДМ, а отработка данных — принадлежность внутренних схем модулей, в которых должно анализироваться наличие, например, СМСТ и т. д.

Пользуясь тем, что уже рассмотрено (функции П, ПР, И, ИР, СИ, СБ и ЗП), и забегая вперед (функции ОП, З и К), необходимо отметить, что от состояния функции ДМ не зависит ни одно состояние других функций и ни один переход в них. Тем более нет зависимости напрямую от линии ДУ, которая используется для выполнения переходов только в ДМ. Поэтому отработка команд, передача результатов измерений, БСТ, адресация, сброс, запуск и другие задачи, решаемые интерфейсом, не зависят от работы функции ДМ и уровня в линии ДУ.

Функция ДМ (см. рис. 2.11 и табл. 2.5—2.8) имеет четыре состояния. Если ДУ в высоком, то все переходы запрещены, ибо по условию «высокое ДУ и  $t_4$ » неизбежно наступление СМСТ. Первым необходимым условием любого перехода в функции ДМ является низкое ДУ.

Для понимания работы функции ДМ мысленно разобьем всю клавиатуру (органы управления) модуля на три группы клавиш. Первая — органы управления, работа которых не зависит от функции ДМ (например, тумблер «Сеть»), вторая — органы управления, работа которых зависит от состояний функции ДМ (именно они могут блокироваться и деблокироваться состояниями СДСТ, СДСЗ и СМЗП, СМСТ соответственно) и третья — кнопка «внм».

Состояния СМСТ и СДСТ отличаются от СМЗП и СДСЗ тем, что в СМЗП и СДСЗ прибор не должен различать клавиши второй и третьей групп, т. е. кнопка «внм» блокируется так же, как и все остальные. В состояниях СМСТ и СДСТ кнопка «внм» влияет на работу функции и доступна для ручного управления. Для того чтобы из состояний СМСТ и СДСТ перейти в СМЗП и СДСЗ, необходимо и достаточно по КОП передать команду ЗПМ (при одновременном низком ДУ). По этой команде во всех модулях блокируется ручное управление кнопкой «внм». Важно, что, хотя имя команды ЗПМ — «запирание местного», на самом деле запирается только одна кнопка. Клавиши второй группы либо заблокированы (СДСЗ), либо доступны оператору (СМЗП). Обратный переход из СМЗП и СДСЗ в СМСТ и СДСТ с помощью команд КОП правилами стандарта не предусмотрен. Единственным способом для этого является выдача высокого ДУ.

Переход из СМСТ в СДСТ, равно как из СМЗП в СДСЗ, осуществляется по команде МАП (при этом, естественно, должно быть низкое ДУ). Так как МАП — команда, предназначенная только для одного прибора, то в дистанционное управление перейдет только этот прибор. Например, чтобы заблокировать ручное управление во всех модулях, необходимо выдать МАП всем приборам последовательно, а затем передать НПМ. В результате все устройства АИС перейдут в режим игнорирования воздействия на органы управления второй группы, ожидания данных на переключение режимов работы из КОП, и при этом ни один не будет выбран.

Возврат к ручному управлению при необходимости, например, подстройки прибора оператором осуществляется выборочно (сначала МАП, а затем ПНМ) на одном или нескольких адресованных приемниках модулях, а также на всех сразу через «высокое ДУ и  $t_4$ ». Для состояний СДСЗ и СМЗП других возможностей возврата в ручное управление не предусмотрено. Что же касается СМСТ и СДСТ, то именно здесь работает кнопка «внм». Если клавиши второй группы заблокированы от ручного управления (СДСТ), то оператор может по своей инициативе или по команде от ЭВМ нажать кнопку «внм», что обеспечит перевод прибора в ручное управление (СМСТ). Кнопка «внм» не может быть выполнена в виде тумблера, так как тумблер означал бы постоянную выдачу местного сообщения «внм», при котором переход из СМСТ в СДСТ запрещен (см. условие «нет внм и МАП и СПРМ» на рис. 2.11). Располагать кнопку сзади или сбоку неудобно, а при стоечном исполнении АИС, когда все модули расположены в специальных приборных шкафах, просто недоступно.



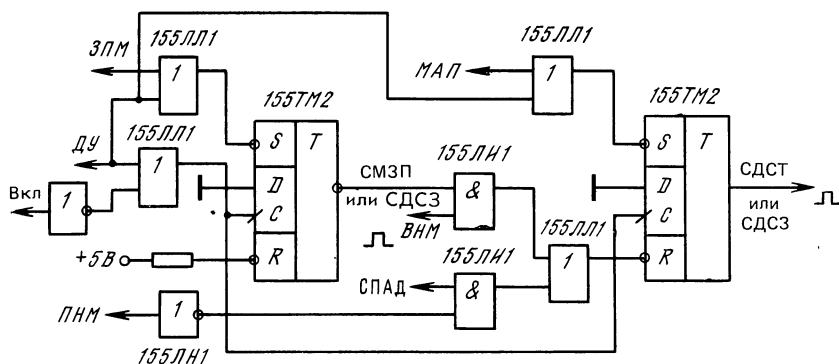


Рис. 2.31. Схема функции ДМ1

В интерфейсе КОП допускается два варианта реализации функции ДМ: ДМ1 и ДМ2. Вариант ДМ2—упрощение ДМ1, связанное с отсутствием кнопки «внм», а следовательно, и состояний СМЗП, СДСЗ, и переходов по ЗПМ, так как уже нечего заперать. Пример реализации функции ДМ приведен на рис. 2.31.

**Функция «запрос на обслуживание».** Функция 3 регламентирует правила, пользуясь которыми модули управляют состоянием линии ЗО. Выдача низкого ЗО—это единственный для прибора способ передачи сигнала в ЭВМ о необходимости обслуживания, когда, например, закончен процесс измерений и данные готовы к выдаче, или перегружены измерительные цепи, или закончена самокалибровка, или модуль обнаружил сбой в КОП (данные для переключения режимов поступают в состоянии СМСТ и т. п.), или неправильно установлен предел измерений. Условия возникновения и устранения причин, по которым модуль должен выдавать сигнал запроса на обслуживание у ЭВМ (низкое ЗО), а также число этих причин определяет разработчик прибора. Каждая из причин в стандарте на КОП именуется «зно»:  $зно = зно_1$  или  $зно_2 \dots$  или  $зно_i \dots$  или  $зно_I$ , где  $I$ —число предусмотренных конструктором причин, необходимых для выдачи низкого ЗО, а «зно»—их логическое «или».

Важным, хотя и не оговоренным в стандарте требованием является возможность маскирования «зно<sub>*i*</sub>»,  $i=1, I$ . В противном случае разработчик может придумать такое число причин (для него все окажутся необходимыми), что это приведет к отрыву ЭВМ от основной работы по управлению модулями в АИС: все время будет тратиться на обработку запросов на обслуживание. Маскирование «зно<sub>*i*</sub>» позволяет выбирать нужные в данной реализации системы причины, а по остальным с помощью передачи специальных кодов запрещать выдачу низкого ЗО. Введение маски на каждую «зно<sub>*i*</sub>» разрешает конфликт между конструкторами системы и прибора. Первому выгодно, чтобы значение  $I$  было минимально необходимым, а второму, наоборот, максимально возможным (повышается технический уровень модуля, область его применения в АИС и т. д.).

Работа функции 3 отличается от всех остальных интерфейсных функций. Она ни прямо, ни косвенно не зависит от условия «низкое ОИ и  $t_4$ », так как линией ЗО модуль управляет не по инициативе ЭВМ, а исходя из своего внутреннего состояния. При наличии «зно» функция 3 должна находиться в состоянии СЗОВ или СПРЗ (см. рис. 2.14 и табл. 2.5—2.7), причем в СЗОВ по линии ЗО должен выдаваться низкий уровень, а в СПРЗ—высокий (в СПРЗ прибор имеет «зно», но не сообщает об этом ЭВМ). Такое разделение между СЗОВ и СПРЗ сделано ввиду коллективности линии ЗО (одна на все модули АИС) и возможности случая, когда несколько приборов одновременно требуют обслуживания. Например, если низкое ЗО выдают сразу два, три, четыре и т. д. устройства, ЭВМ переводит одно из них в СПРЗ. Если в линии ЗО все еще остается низкий уровень, значит, есть и второе (а затем, может быть, и третье и т. д.) устройство, также требующее обслуживания. Правда, при этом необходимо,

чтобы все модули, переведенные в СПРЗ из СЗОВ через СПСА, запоминались в управляющей программе и в зависимости от важности причины рано или поздно были обслужены.

Переход из СЗОВ в СПРЗ—единственный в функции 3, который инициируется интерфейсом. Все остальные—из СЗОВ в СОРЗ и обратно, а также из СПРЗ в СОРЗ—осуществляются по инициативе самого модуля. Условием этих переходов является наличие или отсутствие «зно», а ограничением—отсутствие СПСА (если прибор переведен в режим передачи БСТ, то рассматриваемые переходы запрещены).

Модуль при передаче БСТ как бы выдает в ЭВМ информацию о своем предыдущем состоянии. Пусть СПСА наступило в момент отсутствия «зно», т. е. в СОРЗ. Линия ЗО была в высоком. Пока модуль находился в СПСА (передавал БСТ и ОБЗ), в нем появилось «зно». Переход в СЗОВ в этом случае не происходит до тех пор, пока СПСА не будет снято. Иначе информация, содержащаяся в ОБЗ (наличие или отсутствие «зно» в модуле), должна измениться, что неудобно для работы АИС и может привести к сбоям при обслуживании тех приборов, у которых потребность в этом отпала, и наоборот. Во всех отношениях очевидно усложнение алгоритма функционирования АИС при отсутствии ограничения «и СПСА» на переходы в функции 3. Аналогично при СПСА и исчезновении причины «зно» запрещен возврат из СЗОВ в СОРЗ и из СПРЗ в СОРЗ. Эти два перехода (см. выражение «нет зно и нет СПСА» на рис. 2.14) отличаются друг от друга тем, что первый выполняется в случаях, когда СПСА не наступило в период от появления «зно» и до снятия, а второй—если в этот же период СПСА имело место.

Особенностью функции 3 является ее влияние на работу внутренних схем модуля, участвующих в процессе (алгоритме) передачи информации, а именно на состояние СИГР. При СПСА вместо байта данных по ШД модуль-источник по тем же правилам выдает БСТ и ОБЗ. Информацию для обмена формируют узлы прибора, описывающие не результаты измерений, а внутреннее состояние, причем в концентрированном виде и всего в одном байте. Этот байт может и должен выдаваться многократно до тех пор, пока не будет прерывания алгоритма передачи. Одним из битов в байте состояния управляет функция 3. Бит приписан к ЛДб, называется ОБЗ и равен 1 (низкий уровень в момент наступления СИПД), если функция 3 в состоянии СПРЗ, и 0—если в СОРЗ. Остальные биты в байте состояния обычно предназначены для расшифровки «зно», т. е. конкретизации значения «зно». Таким образом, ОБЗ является критерием для определения в управляющей программе АИС того, выдавал ли данный прибор низкое ЗО или нет. Без этого с учетом коллективности линии ЗО идентификация прибора, требующего обслуживания, была бы невозможна.

Пример реализации функции 3 для четырех причин «зно»,  $i=1,4$ , приведен на рис. 2.32.

**Последовательный опрос.** Алгоритм последовательного опроса не является интерфейсной функцией, но характеризуется рядом общих правил, связанных со стандартом на КОП, и предназначен для идентификации модулей, требующих обслуживания через линию ЗО.

Исходной посылкой для проведения последовательного опроса является обнаружение ЭВМ низкого уровня в линии ЗО, причиной которого может быть требование на обслуживание одного, двух, трех и т. д. вплоть до всех без исключения модулей АИС. При проведении последовательного опроса (рис. 2.33 и 2.34) используются функции СП, СИ, И или ИР, а также учитываются особенности функции 3. Начало алгоритма и его прерывание в любой точке определяются по инициативе ЭВМ. Не обязательно, чтобы сразу после появления низкого ЗО управляющая программа АИС переходила на последовательный опрос. Контроллер системы может сначала выполнить задачи более высокого приоритета и только затем идентифицировать модули, требующие обслуживания. По тем же причинам алгоритм последовательного опроса может быть в любой момент прерван. После прерывания управляющая программа должна, если это необходимо, выдать команду ЗПО, иначе вместо результатов измерений все модули будут выдавать байты состояний. Разадресацию модуля, оставшегося источником, выполнять не обязательно, так как одновременно с выбором любого

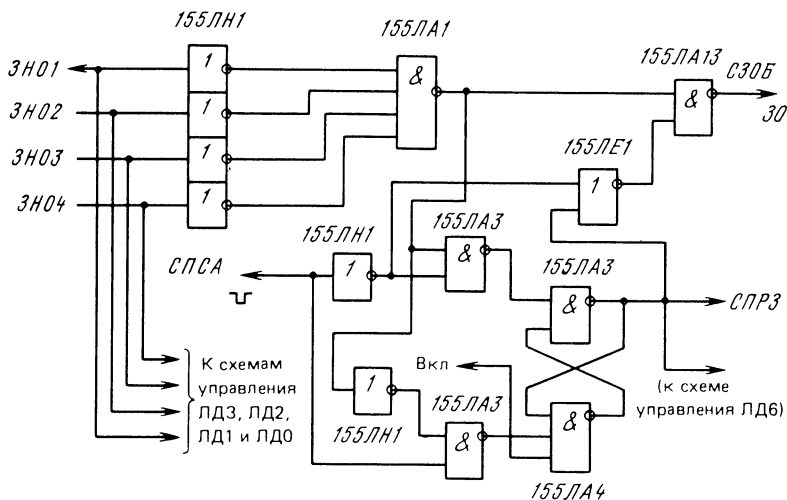


Рис. 2.32. Схема функции 31

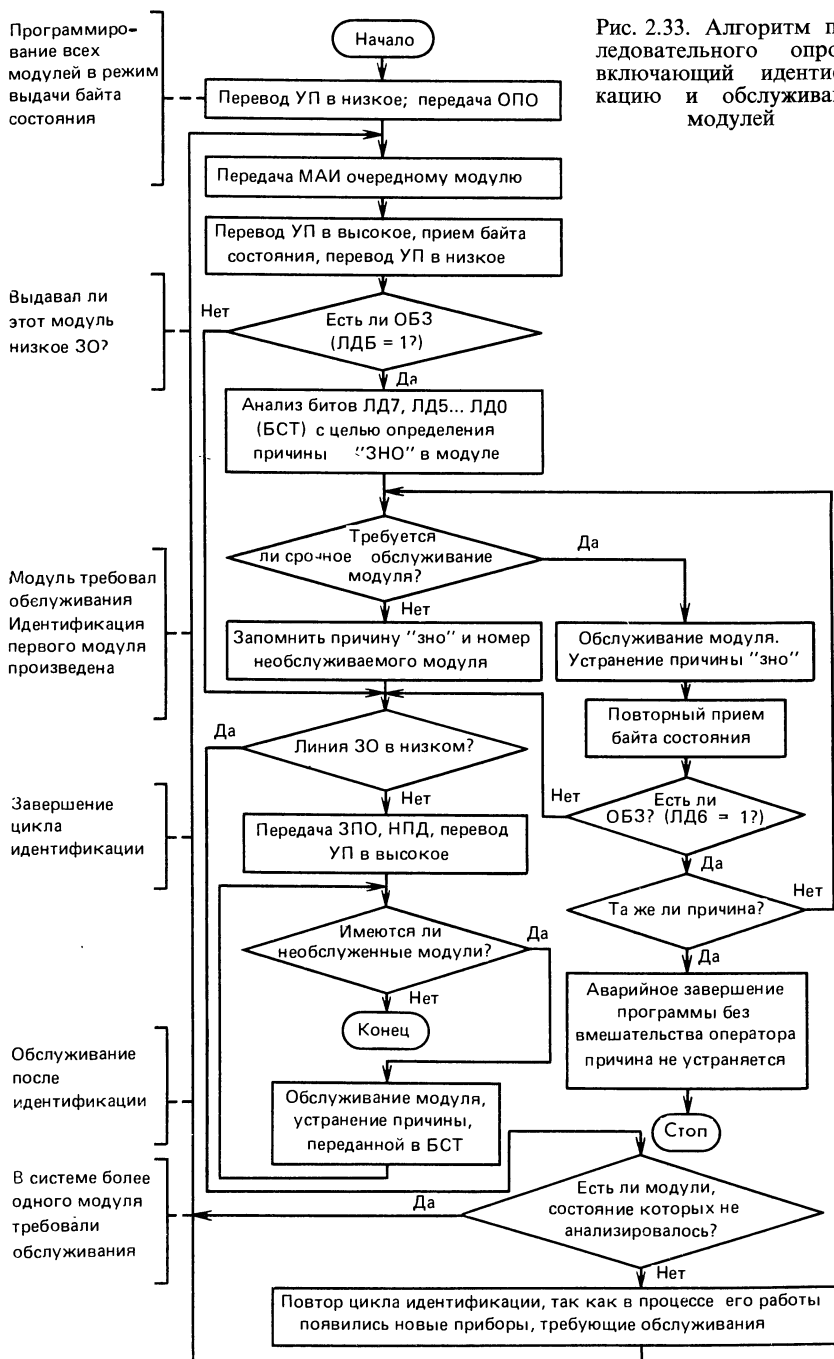
другого модуля на передачу информации старый источник разадресуется по ДАИ. На рис. 2.33 и 2.34 показан нормальный (без прерываний) порядок работы алгоритма, а также завершение его по условию, когда все модули обслужены (рис. 2.33) или идентифицированы (рис. 2.34).

**Функция «параллельный опрос».** Функция ОП предназначена для быстрой (по сравнению с последовательным опросом) идентификации модулей АИС, требующих обслуживания, но не позволяет определить причину запроса, так как прием байта состояния в ней не выполняется.

Суть работы функции ОП, а также параллельного опроса как алгоритма сводится к следующему. Каждому прибору (чаще всего в самом начале функционирования управляющей программы АИС) по команде ОПР назначается одна из линий ШД, которой он будет управлять в момент параллельного опроса, и предписывается условие для перевода этой линии в низкое состояние. Номер линии передается по ЛД2, ЛД1 и ЛД0 в команде ОПР, а условие — по ЛД3 и называется «битом считывания» (С). Так как число возможных комбинаций из 0 и 1 на ЛД2, ЛД1 и ЛД0 равно восьми и число линий в ШД — также восемь, то с помощью команды ОПР можно предписать модулю любую линию в ШД. Например, для назначения ЛД7 по ЛД2, ЛД1 и ЛД0 в ОПР достаточно передать все единицы (111), для ЛД6 — 110, для ЛД5 — 101 и т. д., для ЛД0 — 000. Получив команду ОПР, модуль расшифровывает ее и запоминает линию, которой он во время параллельного опроса должен управлять. Аналогично запоминается и бит С, передаваемый по ЛД3 в той же самой команде ОПР.

Теперь, когда ЭВМ переводит прибор в состояние СОАК (см. рис. 2.15 и табл. 2.5—2.8), т. е. осуществляет параллельный опрос, модуль должен выдать в назначенную линию либо высокий, либо низкий уровень. В какую линию выдавать — уже известно (та, которая была закодирована на ЛД2, ЛД1 и ЛД0 в ОПР). Но какой уровень выдавать — низкий или высокий? Это определяется двумя условиями.

Первое — состояние самого прибора. Если он выдавал низкое ЗО (т. е. запрашивал обслуживание), то по идее он должен выдать в предписанную линию низкий уровень, так как именно для идентификации требующих обслуживания приборов нужен параллельный опрос. В этом приборе имеется «зно<sub>г</sub>», а значит, и «зно». В стандарте при описании функции ОП вместо местного сообщения «зно» используется «ист», которое по своей сути имеет тот же смысл, что и «зно», но может отличаться набором «зно<sub>г</sub>». Однако



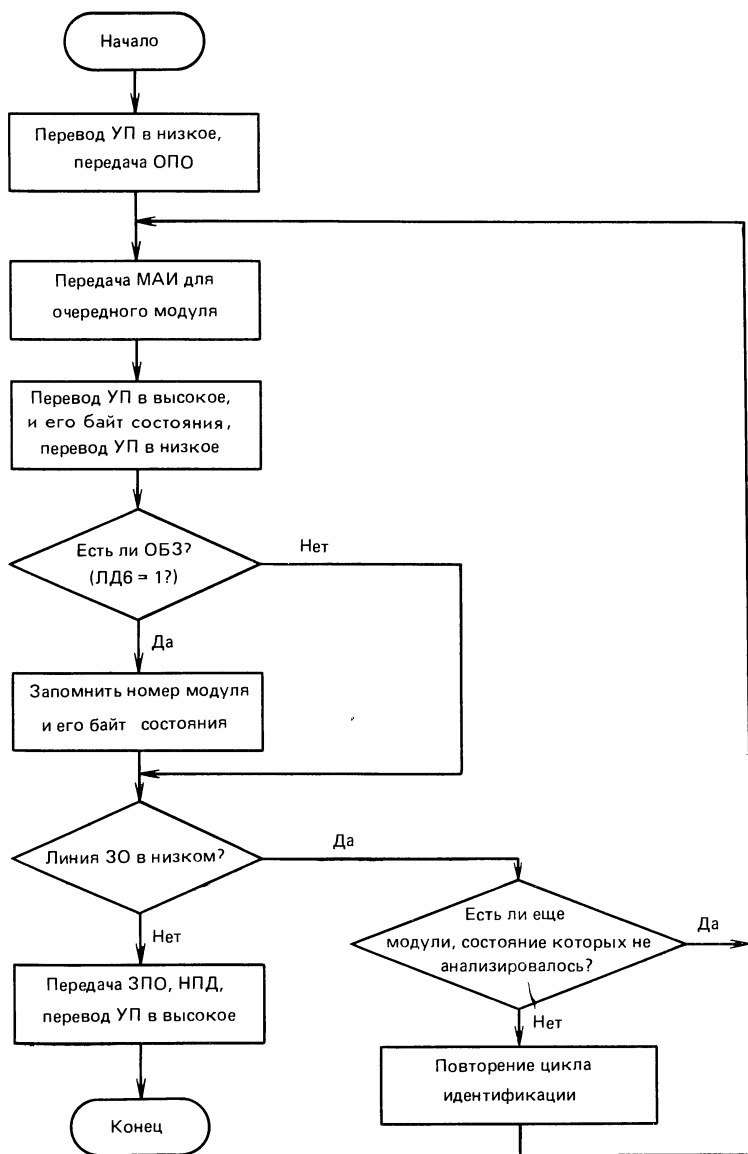


Рис. 2.34. Алгоритм последовательного опроса, включающий только идентификацию модулей

нормально, если «зно» = «ист», иначе идентификация прибора, требующего обслуживания с помощью быстрого параллельного опроса, теряет смысл.

Почему же не низкий уровень при наличии «зно» или, что то же самое, «ист»? Потому что имеется второе условие — бит С. Если бит С = 1 (по ЛДЗ

в ОПР была передана 1) и «ист» есть, тогда по предписанной линии должен быть выдан низкий уровень. Это означает, что ЭВМ в команде ОПР просила выдавать низкий уровень, если модуль требует обслуживания (есть «ист»). Но возможен и другой вариант ( $C=0$ ). Контроллер в команде ОПР просил выдавать низкий уровень при условии, что модуль не требует обслуживания (нет «ист»). Тогда при наличии «зно» или «ист» в предписанную линию должен быть выдан высокий уровень. Таким образом, низкий уровень в предписанную линию выдается только тогда, когда бит  $C$  совпадает с «ист», т. е.  $C=1$  и есть «ист», а также  $C=0$  и нет «ист». В оставшихся двух вариантах (при несовпадениях) уровень должен быть высоким.

Так работают все модули, участвующие в параллельном опросе. Машина получает байт, причем в этом случае не используются функции СИ и СП, ШД считывается асинхронно, без анализа ГП и ДП, а для затухания переходных процессов просто выдерживается время  $T_6$  (см. функцию К), которое в 10 раз превышает  $t_5$  (время реакции модуля на параллельный опрос не более 200 нс, см. табл. 2.8). В принятом байте содержится полная информация о восьми модулях, так как каждый бит отражает состояние каждого модуля. Биты в байте, принимаемом в период проведения параллельного опроса, называются РОП (реакция на параллельный опрос): РОП1 соответствует ЛД0, РОП2—ЛД1, ..., РОП8—ЛД7.

Началом параллельного опроса является выдача от ЭВМ сигнала ИДТ (идентификация), означающего перевод линий КП и УП в низкое. В каждом модуле дополнительно запускается алгоритм приема команд (функция СП), который переходит в состояние СПГТ. Это никак не влияет на параллельный опрос, в котором ЭВМ считывает ШД асинхронно, не используя функции СИ и СП. Для того чтобы модуль выдавал РОП в ответ на ИДТ, необходимо и достаточно наличия состояния СООЖ у функции ОП в этом модуле. Именно в СООЖ обычно находится ОП в течение всего времени работы АИС, изредка (по сигналу ИДТ от ЭВМ) переключаясь на СОАК и выдавая РОП. В состоянии СООЖ модуль не воздействует на интерфейс, поддерживая все линии КОП в высоком состоянии.

Для того чтобы перевести модули, которые будут отвечать на параллельный опрос, в состояние СООЖ, обычно в начале работы АИС в управляющей программе предусматривается конфигурация параллельного опроса. Ее суть заключается в выдаче всем модулям по очереди трех команд: МАП, КНР и ОПР. Последовательность переходов из СОХХ в СООЖ, из СОНА в СОАД и наоборот показана на рис. 2.15. По аналогии с функциями И, ИР, П и ПР в состоянии СООЖ модуль адресован на выполнение параллельного опроса. Для адресации необходимы ОПР и СОАД, для разадресации без снятия СОАД—ЗПР, а со снятием СОАД—ДПР, причем в последнем случае не требуется предварительной выдачи ни КНР, ни МАП, так как ДПР—универсальная команда, разрушающая конфигурацию на параллельный опрос одновременно во всех модулях АИС.

В функции ОП кроме возможности ее дистанционного перевода в СООЖ предусмотрены те же действия по местному сообщению «омо» (см. табл. 2.7). Это сообщение реализуется с помощью пяти тумблеров и выполняет роль местного конфигурирования. Три тумблера из пяти—это то же, что ЛД2, ЛД1 и ЛД0 в команде ОПР. Четвертый тумблер—бит  $C$ , т. е. ЛД3 в ОПР. Пятый тумблер—есть или нет «омо» (можно и правильно считать, что это ЛД4 в ОПР, так как именно этим битом отличаются ОПР и ЗПР). Аналогично «тлп» и «тлм» «омо»—принудительный перевод ОП в СООЖ, снятие которого невозможно командами КОП, в том числе ДПР.

Стандартом на КОП допускаются две возможности по реализации функции ОП: ОП1 и ОП2. Вариант ОП1—это все состояния и все переходы, исключая «омо», вариант ОП2—только местное конфигурирование (нет состояний СОНА, СОАД и переходов по условиям «ОПР и СОАД и СПРМ», «ЗПР и СОАД и СПРМ» и «ДПР и СПРМ»). Пример совмещенного схематехнического исполнения функции ОП приведен на рис. 2.35.

Согласно описанию ОП ясно, что число модулей, одновременно участвующих в быстрой идентификации, не может превысить восемь (по числу линий в ШД).

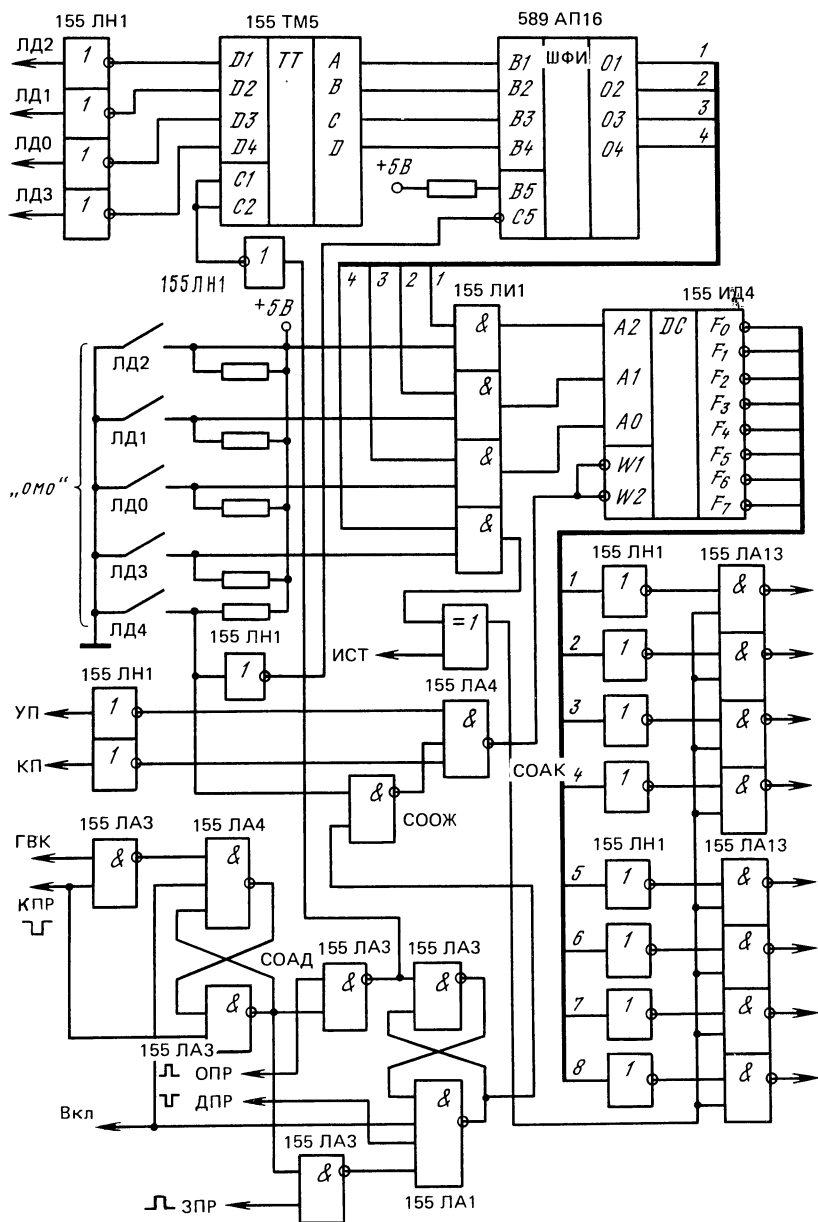


Рис. 2.35. Схема функции ОП1

При этом причина запроса все равно остается неизвестной, и для ее определения требуется прием БСТ, что обуславливает проведение частичного последовательного опроса (только для тех модулей, РОП которых указывает на наличие «зно»). В связи с этим параллельному опросу целесообразно подвергать все модули АИС, объединив их предварительно в восемь групп, и модулям внутри каждой группы назначить одинаковые линии для РОП. Такой подход подразумевает ускорение идентификации за счет сужения числа последовательно опрашиваемых модулей в алгоритмах, приведенных на рис. 2.33 и 2.34.

Практическим замечанием в отношении функции ОП является допускаемая стандартом возможность разделения «зно» и «ист», т. е. наличие таких «зно», которые не входят в логическое «или», определяющее «зно», а являются дизъюнкцией только для «ист». В этом случае после возникновения в модуле «ист» в линии ЗО не будет появляться низкий уровень (причины малозначимы), а наличие «ист» в модулях со стороны ЭВМ определяется только с помощью периодического проведения параллельного опроса.

**Функция «контроллер».** Функция К регламентирует (рис. 2.16 и табл. 2.5—2.8): правила управления линией УП и время, когда разрешены прием-передача команд и данных (состояния СКАК, СКОЖ, СКРЗ, СКОС, СКОА); правила управления сигналом ИДТ и время, когда допускается асинхронное чтение ШД с целью получения информации о РОП1...РОП8 (СКАК, СКОП, СКПР, СКОА);

правила приема-передачи управления интерфейсом от одной ЭВМ к другой (СКХХ, СКАД, СКАК, СКПД);

правила определения ведомых и ведущих ЭВМ в многомашинных АИС (СКУН, СКУА), а также правила управления линиями ОИ (СКИХ, СКИА, СКИН) и ДУ (СКДА, СКДН, СКДХ);

состояние, которое инициирует начало проведения последовательного и параллельного опросов (СКНЗ, СКЗО).

Одна магистраль КОП может содержать как один, так и несколько модулей, имеющих функцию К. Во втором случае контроллеры (по аналогии с источником) управляют интерфейсом поочередно, переходя из СКХХ в СКАД, а затем в СКАК и становясь активным или действующим контроллером. Одновременно контроллер, который до этого момента был активен, по цепочке СКАК—СКПД—СКХХ переходит в состояние холостого хода и не оказывает влияния на дальнейшую работу интерфейса. Его задачей теперь является выполнение указаний нового действующего контроллера. Активный контроллер в магистрали КОП всегда один.

Порядок передачи управления интерфейсом сводится к следующим действиям активного контроллера. Находясь в СКАК, он передает МАИ для контроллера, который в соответствии с алгоритмом работы АИС управляет системой в дальнейшем. Функция И в будущем контроллере переходит в состояние СИАД, а в текущем—в СИХХ. Затем старый, но еще действующий контроллер выдает команду ВУП, по которой сам переходит в состояние СКПД, а будущий контроллер—в состояние СКАД (адресован). Окончание передачи ВУП для старого контроллера означает переход в СКХХ по условию «нет СИПД», а для нового—в СКАК по условию «высокое УП» (обеспечивается состоянием СКХХ у старого контроллера и СКАД—у нового). Новый становится действующим, выставляет низкое УП и по алгоритму дальнейшей работы АИС продолжает управление КОП.

Передающий и принимающий управление контроллеры определяются на этапе составления программы АИС, что закладывается в индивидуальную программу работы каждого контроллера. Управляющая программа разбивается на подпрограммы, выполняемые тем или иным контроллером, т. е. происходит так называемое распределение интеллекта, позволяющее повысить производительность и живучесть системы в целом.

Как следует из диаграммы функции К, переход в состояние СКХХ возможен не только по уже рассмотренной цепочке команд и сигналов, но и по условию «низкое ОИ и  $t_4$  и нет СКУА». После появления низкого ОИ возможен «клинч», связанный с тем, что все контроллеры перейдут в СКХХ (холостой ход), а так как в СКХХ управление магистралью запрещено, то АИС с целом должна потерять работоспособность. На самом деле ничего подобного не происходит,



поскольку в интерфейсе КОП реализован принцип «ведущий и ведомые контроллеры». Ведущий всегда один (СКУА), а ведомых — сколько угодно (СКУН). Только ведущему контроллеру разрешено управление линией ОИ (состояния СКИА и СКИН), в то время как остальные постоянно находятся в СКИХ по условию «нет СКУА». Когда ведущий контроллер выдает низкое ОИ (переход в СКИА), это же состояние обеспечивает его переход из СКХХ в СКАД (см. рис. 2.16), в котором ведущий контроллер ожидает, пока другой действующий до этого контроллер перейдет в СКХХ по условию «низкое ОИ и  $t_4$  и нет СКУА», т. е. выставит высокое УП. Далее автоматически следует переход ведущего в СКАК и управление системой не теряется.

Кроме прерывания функционирования АИС рассмотренный алгоритм перехода ведущего контроллера в СКАК — единственный способ первоначального запуска интерфейса КОП. После включения питания все функции переходят на холостой ход и ждут команд, а команды могут поступать только в СКАК. Запуск интерфейса КОП осуществляет ведущий контроллер, причем только посредством выдачи местного сообщения «очи» (обычно это специальный оператор в управляющей программе АИС). В ответ на «очи» в КОП поступает первый сигнал — низкое ОИ. Его воздействие на КОП, описанное в функциях П и ПР, гарантирует переход в исходное состояние интерфейсных функций во всех приборах. В ведущем контроллере происходит обратное. Низкое ОИ через СКИА инициирует его активность (СКАК), без чего дальнейшая работа КОП невозможна.

Определение ведущего и ведомых контроллеров выполняется либо программистом на этапе создания АИС посредством установки тумблера «зус» в положение, соответствующее наличию сигнала «зус», либо системой более высокого, чем КОП, уровня иерархии. Например, по каналам связи из центра управления всеми контроллерами АИС поступает указание для автоматической установки «зус» в то или иное положение. Вот почему в интерфейсе КОП всегда один ведущий контроллер и ряд ведомых. И ведущий, и ведомые могут поочередно управлять АИС. Запуск и прерывание работы интерфейса АИС осуществляются только ведущим контроллером. Только ведущему контроллеру разрешено управление линиями ОИ и ДУ независимо от того, действующий он в данный момент или нет. Если контроллер в АИС один, то он должен быть ведущим.

Функция К — принадлежность управляющей ЭВМ в АИС. Теоретически она может быть встроена в обычные модули, с тем чтобы они также управляли магистралью КОП, освобождая вычислительную машину от рутинных операций по сбору данных и оставляя ей только обработку. Но против реализации в приборах функции К имеется два возражения. Первое — для того чтобы разгрузить ЭВМ (распределить интеллект в АИС), не требуется иметь в каждом модуле функцию К. Достаточно реализовать ее хотя бы в одном, так как действующий контроллер в КОП всегда один, а остальные все равно находятся в состоянии холостого хода. Но в каком именно приборе? Ответить на этот вопрос невозможно. Поэтому не исключены варианты отсутствия или, наоборот, избытка требуемого числа контроллеров в различных конкретных АИС. Второе — для распределения интеллекта логично применять несколько ЭВМ, в том числе, например, одну мощную — ведущую и ряд простых — ведомых. В таком случае «да» или «нет» реализации функции К в модулях решается однозначно — «нет».

Если в ЭВМ отсутствует тумблер «зус» или другие способы управления этим сообщением, то сигнал «зус» имеется и данная ЭВМ может быть только ведущей. Это верно, если среди программных средств имеются операторы для управления линиями ОИ и ДУ. Все существующие ЭВМ, за исключением устройства 908 (см. гл. 4), построены подобным образом. Из таких ЭВМ невозможно создать локальную сеть или многомашинную АИС без нарушения требований стандарта на КОП.

Ведущая ЭВМ, как было указано выше, управляет линией ОИ через состояния СКИА и СКИН. В СКИХ находятся все остальные ведомые ЭВМ. Если в ведущей ЭВМ одновременно с «зус» (СКУА) поступает «очи», то выполняется переход из СКИХ в СКИА, но обычно эти два сигнала разнесены во времени, и первоначально функция К в ведущей ЭВМ переходит в СКИН, в котором ОИ поддерживается в высоком. Затем по импульсу «очи» происходит

переход в СКИА. Сразу после появления СКИА в ОИ выдается низкий уровень. Через время не менее  $T_8 = 100$  мкс осуществляется возврат в СКИН и ОИ становится высоким. Длительность импульса «очи» должна быть достаточной для перехода из СКИН в СКИА. Длительность низкого ОИ за счет  $T_8$  всегда не менее 100 мкс.

Управление линией ДУ производится по схеме, аналогичной управлению ОИ. Состояния СКДА и СКДН принадлежат ведущей ЭВМ, состояние СКДХ — всем ведомым. В СКДА в ДУ выдается низкий уровень, а в СКДН — высокий. По потенциальному сигналу «оду» (специальный оператор в управляющей программе) инициируется выдача низкого ДУ, т. е. переход в СКДА. Но если перед этим было снято низкое ДУ и после перевода ДУ в высокое  $T_8 \leq 100$  мкс, то СКДН переходит в СКДА не сразу, а только после полной отработки задержки  $T_8$ . Этим обеспечивается условие «высокое ДУ и  $t_4$ », необходимое для правильной работы функции ДМ. Обычным состоянием ведущей ЭВМ при функционировании АИС является СКДА. Снятие низкого ДУ (СКДН) — явление неординарное, оно приводит к переходу на ручное управление всех модулей АИС. Обычно на ручное управление переводится только один или несколько заранее адресованных приемниками модулей посредством команды ПНМ (см. функцию ДМ).

Управление линией УП и сигналом ИДТ доступно и ведущей, и ведомым ЭВМ, но только при условии, что они действующие контроллеры интерфейса. Наиболее часто повторяющийся цикл работы действующего контроллера — это СКАК — СКОЖ — СКРЗ — СКОС — СКОА — СКАК и т. д. В состояниях СКАК, СКОА и СКОС в линию УП контроллер должен выдавать низкий уровень, а в СКОЖ и СКРЗ — высокий. Выдавать команды разрешено только в состоянии СКАК, так как оно обеспечивает запуск алгоритма передачи команд (см. функцию СИ). В состоянии СКОЖ контроллер разрешает обмениваться данными или, если активных источников или приемников им же не назначено, просто «отсиживаться», например, в период обработки результатов измерений и т. д. Переход из СКАК в СКОЖ разрешен при выдаче сообщения «пно» (оператор в управляющей программе) только после завершения цикла обмена байтом, т. е. в СИОЦ или СИГР (состояния функции СИ). Иначе возможен сбой, связанный с интерпретацией адресованными на прием модулями информации с ШД не как команды, а как данных.

Для возврата из СКОЖ в СКАК предусмотрено два варианта. Если этот переход осуществляется через состояние СКРЗ, то сбой, связанный с интерпретацией данных на ШД как команды, исключен, если минуя СКРЗ — возможен. Путь возвращения контроллера в СКАК определяется программистом на этапе составления алгоритма работы системы. При наличии оператора, инициирующего импульс «вус», переход в СКАК выполняется через СКРЗ, а отсутствие сбоев достигается условием «вус и СПНГ», необходимым для того, чтобы источник установил СД в высокое. Этот переход возможен только в случае, если ЭВМ — приемник информации. Она задерживает цикл приема (см. функцию СП) в состоянии СПНГ собственной функции СП (независимо от того, есть еще активные приемники или нет), которое несовместимо с низким СД. Далее через  $T_{10} \geq 1,5$  мкс выполняется переход в СКОС и УП становится низким. Закладывая в управляющую программу оператор, инициирующий «вуа», низкое УП, соответствующее состоянию СКОС, может наступить в любой момент цикла приема-передачи байта данных, а значит, возможна и неправильная интерпретация информации на ШД. Нормально, если «вуа» используется либо после «отсидки» контроллера в СКОЖ, не сопровождаемой приемом-передачей данных (а в этом случае выход по «вус» вообще невозможен), либо в аварийных ситуациях, когда промедление недопустимо.

После СКОС, в котором УП уже в низком, для достижения СКАК необходимо выполнение еще двух условий: « $T_7$  или СИАД» и « $T_9$  и нет зпо». Главным среди них является первое. Если активным источником в СКОЖ была ЭВМ, то переход в СКОА осуществляется до конца отработки задержки  $T_7 \geq 500$  нс. В противном случае, поскольку чужое СИАД ЭВМ распознавать не может, переход осуществляется через время  $T_7 \geq 500$  нс, достаточное для переходов из СИАК или СПСА в СИАД ( $t_2 \leq 200$  нс) и (после исчезновения СИАК или СПСА) в СИХС или СИХО ( $t_2 \leq 200$  нс).

Переход из СКОА в СКАК, если перед этим было СКОС, выполняется мгновенно, так как  $T_9 > 1,5$  мкс ввиду отсутствия ИДТ в цепочке СКОЖ—СКОС—СКОА или СКОЖ—СКРЗ—СКОС—СКОА. Однако если в контроллер на этих переходах поступает сообщение «зпо» (специальный оператор в управляющей программе, инициирующий начало параллельного опроса), то из СКОА следует переход не в СКАК, а в СКОП.

В состояниях СКПР и СКОП контроллер выдает сигнал ИДТ (КП и УП в низком). В СКПР поскольку оно наступает через  $T_6 \geq 2$  мкс после СКОП, разрешено чтение ШД с целью получения информации о РОП1, ..., РОП8, а в СКОП—запрещено, так как переходные процессы в ШД еще не закончены, да и время  $t_5 = 200$  нс, необходимое для перехода из СООЖ в СОАК (см. функцию ОП), еще не прошло. Переход в СКОП допустим не только из СКОА, но и из СКАК—по условию «нет СИЗД нет СИПД и зпо», аналогично выражению для перехода на ожидание (СКАК—СКОЖ). Снятие «зпо» чаще всего осуществляется также специальным оператором в управляющей программе, т. е. для сообщения «зпо» необходим не один оператор, как для «очи», «вус», а два, как для «оду». Один из них обеспечивает наличие, а второй—снятие «зпо».

Состояния СКНЗ и СКЗО не воздействуют на линии КОП, а только формируют ЭВМ о наличии низкого или высокого уровня в линии ЗО. В низком активно СКЗО, в высоком—СКНЗ. Переходы в этой группе состояний не зависят от активности или пассивности (СКХХ) контроллера, а также от того, ведомый он или ведущий. Отличие заключается только в реакции самой ЭВМ на СКЗО: в ведомом пассивном она запрещена, в ведомом или ведущем активном—зависит от организации управляющей программы, а со стороны КОП разрешена, в ведущем пассивном также разрешена и также зависит от управляющей программы. Ведущий неактивный, например, по СКЗО может запретить обмен в КОП всем модулям и другим ЭВМ, выдав низкое ОИ, взяв на себя управление и обработать запрос на обслуживание.

Стандартом на интерфейс КОП допускается 151 вариант реализации функции К, включая К0—отсутствие функции К в модуле (по аналогии со всеми остальными функциями). Полный набор состояний и переходов принадлежит варианту «К1, К2, К3, К4, К5». Минимально возможный вариант реализации «К1, К28» (рис. 2.36). Чтобы не перечислять 150 вариантов, в стандарте на КОП при их обозначении используются следующие правила: «К1»—это группа состояний СКХХ, СКАД, СКАК, СКПД, СКОЖ, СКРЗ, СКОА, СКОП, СКПР; «К2»—СКУН, СКУА, СКХХ, СКИА, СКИН; «К3»—СКДХ, СКДА, СКДН; «К4»—СКНЗ, СКЗО. Варианты «К5», «К6», ... и т. д. до «К28»—конкретизация «К1», из которых могут быть исключены отдельные переходы и состояния. Просто распознать, например, наличие или отсутствие состояния СКРЗ. В К5, К7, К9 и т. д. (нечетных) СКРЗ есть, а в К6, К8 и т. д. (четных)—нет. Аналогично в К5, К6, К9, К10, К13, К14 и т. д. есть СКОП, СКПР и СКОА, а в К7, К8, К11, К12, К15, К16 и т. д.—нет. Третьим признаком различия

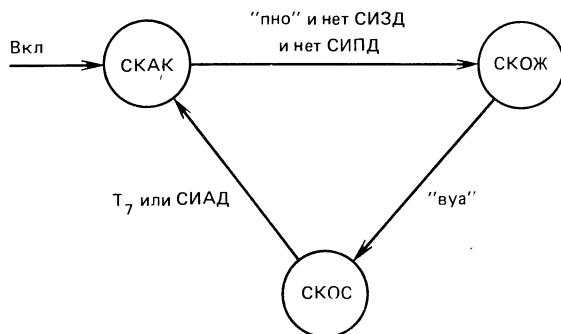


Рис. 2.36. Диаграмма функции «К1, К28»

являются вариации возможностей контроллеров по приему-передаче управления (СКХХ, СКАД, СКПД и выражения для переходов между ними). Кроме того, если реализовано, например, управление линией ДУ, то добавится К3, если есть управление ОИ—то К2, и т. д. Следовательно, описание варианта функции К всегда состоит из К1, любой комбинации из К2, К3 и К4 и одного номера из К5—К28. При этом между К2, К3 и К5—К28 существует взаимная зависимость. Например, реализовывать К3 без К2 не имеет смысла, так как линия ДУ управляется только в ведущем контроллере (К2). Аналогично К5 не существует без К2, так как переход из СКХХ в СКАД через СКИА тогда нереализуем, и т. д.

**Коды и форматы данных.** Данные—это информация для дистанционного изменения режимов работы модулей или результаты измерений и других действий, выполняемых устройствами АИС. Правила кодирования и форматирования относятся только к данным, т. е. к тем байтам, которые передаются под высоким УП посредством алгоритмов приема и передачи, запускаемых состояниями СПАК и СИАК соответственно. В интерфейсе КОП термин «код» идентичен термину «байт». Байт—или код—это одна из 256 комбинаций нулей и единиц от 00000000В до 11111111В. Если 256 комбинаций для управления режимами работы или выдачи результатов измерений недостаточно, то необходим прием (передача) нескольких байтов. Последовательность байтов данных является форматом. Требования к кодам и форматам данных, регламентированные в стандарте, составляют предмет программной совместимости устройств АИС.

Учитывая, что модулями АИС могут быть измерительные приборы, ЭВМ, печатающие устройства, дисплеи, специальное оборудование и т. д., в целом в интерфейсе КОП допускается произвольное кодирование и форматирование данных. Если модулем АИС является аналого-цифровой преобразователь, то в зависимости от его разрядности для передачи результатов измерений может понадобиться один или несколько байтов. То же относится к осциллографам, выдающим в цифровом виде данные о форме сигнала. Возможен также обмен программами между ЭВМ, выдача через КОП кодов для отображения на экране дисплея, печать информации на принтерах и графопостроителях и т. д.

Если ограничить варианты кодов и форматов данных в КОП, то в перечисленных примерах обмен без нарушения требований стандарта станет недопустимым. Поэтому правила кодирования и форматирования данных относятся преимущественно к средствам измерений, когда существует альтернатива простейшему способу составления управляющих комбинаций из 0 и 1. Так, в вольтметре В7-34 общее число режимов работы в КОП равно 1000...1500 (четыре рода работы, восемь пределов измерений, восемь способов выдачи информации и т. д.). Для их кодирования было бы достаточно двух байтов (65 536 комбинаций). Однако такое кодирование крайне неудобно для составления программ контроля, тем более для их отладки. Разработка программного обеспечения свела бы на нет одно из главных достоинств приборно-модульных АИС—доступность для пользователя-непрофессионала. Те же последствия будет иметь подобное кодирование результатов измерений. Поэтому в целях повышения эффективности интерпретации данных и со стороны ЭВМ, и со стороны пользователя в стандарте на КОП везде, где это целесообразно, рекомендуется применять единые правила кодирования и форматирования данных.

Суть их заключается в следующем. Допускаемые коды определяются только множеством символов из набора КОИ-7 (ASCII) по ГОСТ 13052—74, перечень которых приведен в табл. 2.10. Общее число разрешенных в КОП кодов равно 98: 26 букв латинского алфавита, 31 буква русского алфавита, 10 символов цифр, 28 символов специальных знаков, символ пробела и 2 непечатаемых кода ВК и ПС. Все они имеются на клавиатуре любого дисплея, привычны для человека, могут быть введены в программу нажатием единственной клавиши и однозначно отображены на экране или печатающем устройстве. Это удобно для визуального восприятия, «понятно» всем без исключения средствам вычислительной техники, позволяет достичь высшей степени совместимости интерфейса с программным обеспечением ЭВМ. Практически во всех языках высокого уровня есть средства поддержки (прием, передача и обработка) символической информации, кодируемой по ГОСТ 13052—74 в рамках семибитного кода КОИ-7.

Таблица 2.10

## Перечень разрешенных в КОП кодов данных

Двоичный код	16-ричный код	Восьмеричный код	Символ или служебный знак	Требования стандарта на КОП			Отношение к элементам форматов данных	Наименование групп символов
				Запрещено	Предпочтительно	Допустимо		
0...1001	0...9	0...11	—	+			Нет	Служебные знаки
1010	0A	12	Перевод стойки (ПС)		+		ОД2	
1011, 1100	0B; 0C	13, 14	—	+			Нет	
1101	D	15	Возврат каретки (ВК)			+	ОД2	
1110... ...11111	0E...1F	16...37	—	+			Нет	
100000	20	40	Пробел			+	ЗД2, ЗД3, ТД	Пробел
100001	21	41	!			+	ЗД3	Специальные знаки
100010	22	42	»					
100011	23	43	#					
100100	24	44	⌘					
100101	25	45	%					
100110	26	46	&					
100111	27	47	▼					
101000	28	50	(					
101001	29	51	)					
101010	2A	52	*					
101011	2B	53	+		+		ТД	

Продолжение табл. 2.10

Двоичный код	16-ричный код	Восьмеричный код	Символ или служебный знак	Требования стандарта на КОП			Отношение к элементам форматов данных	Наименование групп символов
				Запрещено	Предпочтительно	Допустимо		
101100	2C	54	,		+		ОД1	Специальные знаки
101101 101110	2D 2E	55 56	— .		+		ТД	
101111	2F	57	/			+	ЗДЗ	
110000	30	60	0		+		ТД	Цифры
110001	31	61	1					
110010	32	62	2					
110011	33	63	3					
110100	34	64	4					
110101	35	65	5					
110110	36	66	6					
110111	37	67	7					
111000	38	70	8					
111001	39	71	9					
111010	3A	72	:			+	ЗДЗ	Специальные знаки
111011	3B	73	;			+	ОД1	
111100	3C	74	<			+	ЗДЗ	
111101	3D	75	=					
111110	3E	76	>					
111111	3F	77	?					
1000000	40	100	@					

Продолжение табл. 2.10

Двоичный код	16-ричный код	Восьмеричный код	Символ или служебный знак	Требования стандарта КОП			Отношение к элементам форматов данных	Наименование групп символов
				Запрещено	Предпочтительно	Допустимо		
1000001	41	101	A		+		ЗД, индекс	Заглавные буквы латинского алфавита
1000010	42	102	B					
1000011	43	103	C					
1000100	44	104	D					
1000101	45	105	E*					
1000110	46	106	F					
1000111	47	107	G					
1001000	48	110	H					
1001001	49	111	I					
1001010	4A	112	J					
1001011	4B	113	K					
1001100	4C	114	L					
1001101	4D	115	M					
1001110	4E	116	N					
1001111	4Г	117	O					
1010000	50	120	P					
1010001	51	121	Q					
1010010	52	122	R					
1010011	53	123	S					
1010100	54	124	T					

Продолжение табл. 2.10

Двоичный код	16-ричный код	Восьмеричный код	Символ или служебный знак	Требования стандарта на КОП			Отношение к элементам форматов данных	Наименование групп символов
				Запрещено	Предпочтительно	Допустимо		
1010101	55	125	U		+		ЗД, индекс	Заглавные буквы латинского алфавита
1010110	56	126	V					
1010111	57	127	W					
1011000	58	130	X					
1011001	59	131	Y					
1011010	5A	132	Z					
1011011	5B	133	[			+	ЗДЗ	Специальные знаки
1011100	5C	134	\					
1011101	5D	135	]					
1011110	5E	136	↑					
1011111	5F	137	ь (—) забой					
1100000	60	140	Ю			+	ЗДЗ	Заглавные буквы русского алфавита (строчные буквы латинского алфавита)
1100001	61	141	А (a)			+	ЗД	
1100010	62	142	Б (b)					
1100011	63	143	Ц (c)					
1100100	64	144	Д (d)					
1100101	65	145	Е (e)					
1100110	66	146	Ф (f)					
1100111	67	147	Г (g)					
1101000	68	150	Х (h)					



Продолжение табл. 2.10

Двоичный код	16-ричный код	Восьмеричный код	Символ или служебный знак	Требования стандарта на КОП			Отношение к элементам форматов данных	Наименование групп символов
				Запрещено	Предпочтительно	Допустимо		
1101001	69	151	И (i)		+		ЗД	Заглавные буквы русского алфавита (строчные буквы латинского алфавита)
1101010	6A	152	Й (j)					
1101011	6B	153	К (k)					
1101100	6C	154	Л (l)					
1101101	6D	155	М (m)					
1101110	6E	156	Н (n)					
1101111	6F	157	О (o)					
1110000	70	160	П (p)					
1110001	71	161	Я (q)					
1110010	72	162	Р (r)					
1110011	73	163	С (s)					
1110100	74	164	Т (t)					
1110101	75	165	У (u)					
1110110	76	166	Ж (v)					
1110111	77	167	В (w)					
1111000	78	170	Ъ (x)					
1111001	79	171	Ы (y)					
1111010	7A	172	З (z)					
1111011	7B	173	Ш			+	ЗДЗ	
1111100	7C	174	Э					

Двоичный код	16-ричный код	Восьмеричный код	Символ или служебный знак	Требования стандарта на КОП			Отношение к элементам форматов данных	Наименование групп символов
				Запрещено	Предпочтительно	Допустимо		
1111101	7D	175	Щ			+	ЗДЗ	Заглавные буквы русского алфавита
1111110	7E	176	Ч					
1111111	7F	177	Забой					Специальный знак

Так как кодов всего 98, а режимов работы модулей в АИС может быть значительно больше (данные о результатах измерений также могут варьироваться в диапазонах, больших, чем от 1 до 98), в стандарте на интерфейс КОП рекомендуется использовать цепочки символов и регламентируются правила их составления (форматирование). Единство форматов данных предопределяет возможность использования стандартных операторов ввода-вывода в языках высокого уровня, чем достигается минимальный срок адаптации программистов к программному обеспечению АИС.

Любая последовательность символов в КОП должна состоять из заголовка данных (ЗД), тела данных (ТД) и ограничителя данных (ОД), как показано на рис. 2.37, *а*. Эти последовательности могут повторяться одна за другой (штрих-пунктир на рис. 2.37, *а*) столько раз, сколько необходимо для передачи всех данных от ЭВМ к модулю и наоборот. Внутри любой последовательности допускаются варианты исключения одного или двух слагаемых, например, как показано на рис. 2.37, *б—е*.

Заголовки данных могут быть трех типов: ЗД1, ЗД2, ЗД3. Заголовок ЗД1—это любое число любых букв латинского алфавита, как строчных, так и заглавных. Заглавные русские буквы, совпадающие по кодам со строчными латинскими, также могут использоваться в ЗД1, например |LD FOЯ| (через КОП передаются пять байтов: 4CH, 44H, 66H, 51H, 71H), или |RVR|, или |PT|, или |F|, или |FFFA|, или |REZISTANSE| и т. д. Использование букв латинского алфавита предпочтительнее, так как это обеспечивает совместимость и читаемость программ на ЭВМ любых типов. Заголовок ЗД2—это ЗД1 плюс любое число пробелов между любыми отдельными буквами или группами букв, а также в конце заголовка, например |AUM|, или |FHNZ|, или |P□□□|, или |DRDD□□| и т. д. (Символ «□» означает пробел.) Заголовок ЗД3—любая комбинация букв, пробелов и специальных знаков, за исключением символов "+", "-", " ", " ", " ", " ", " ", так как они задействованы в ТД и ОД. Примеры ЗД3: |<P>|, |LZ=1|, |PEN'UP'|, |R/S/MW| и т. д. В ЗД2 и ЗД3 первым символом должна быть буква. Применение ЗД2 и ЗД3 менее предпочтительно, чем ЗД1, так как хотя и позволяет представить данные в более удобной форме, но требует увеличения общего числа принимаемых (передаваемых) байтов, т. е. ценой снижения производительности АИС.

Тело данных состоит из числа (ТД1, ТД2 или ТД3) и индекса. Индекс по семантике представляет собой набор букв только латинского алфавита и предназначен для обозначения единиц физических величин (амперы, вольты, тонны и т. д.), а также десятичных, кратных и дольных величин (миллиметр, киловольт и т. д.). Символы для большинства единиц физических величин регламентированы стандартом на КОП и приведены в табл. 2.11. Например, индекс для мегаватта будет иметь вид |MAW|, для миллиграмма — |MG|, для килоома — |KOHM| и т. д. Использование индекса не является обязательным, и он может быть опущен.

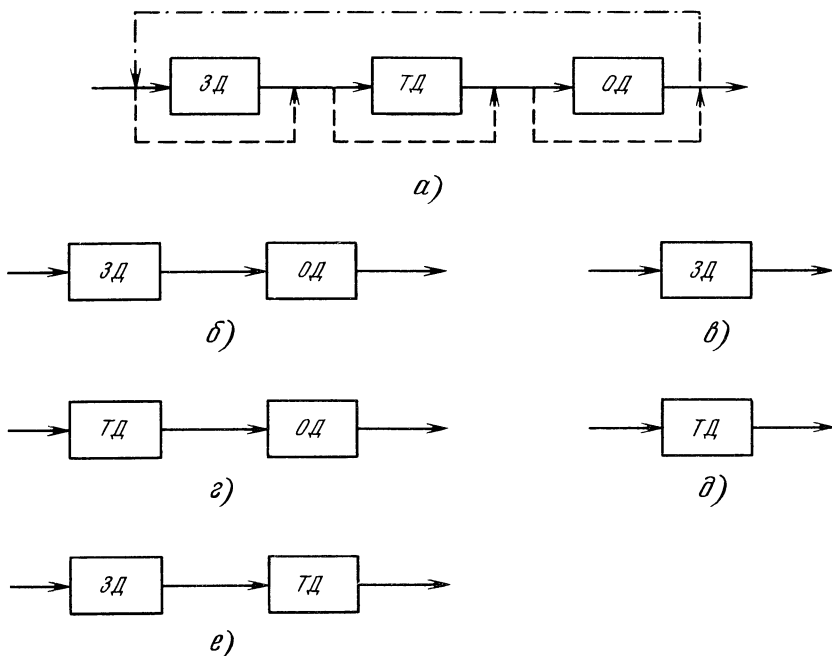


Рис. 2.37. Последовательности данных в КОП

Число ТД1—это форма представления целых чисел. В нем могут использоваться только символы цифр от 0 до 9, а также знаки  $+$  и  $-$ , например  $|3661|$  (в КОП передаются байты 2ДН, 3ЗН, 36Н, 36Н, 31Н), или  $|99999|$ , или  $|+12|$ , или  $|0|$ , или  $|-345|$  и т. д. Допускается, но не рекомендуется впереди числа, а также вместо знака  $+$  использовать символ пробела. Лишние пробелы будут увеличивать время обмена в КОП и, как следствие, снижать производительность АИС. ТД2—форма представления дробных чисел с фиксированным положением десятичной точки, например  $|+3.829|$  (в КОП передаются байты 2ВН, 3ЗН, 2ЕН, 38Н, 32Н, 39Н), или  $|-22.2|$ , или  $|.55|$ , или  $|1988.|$  и т. д. Для ТД2 используются те же символы, что и для ТД1, а также дополнительно символ «.». Наличие десятичной точки в ТД2 обязательно.

Число ТД3—форма представления чисел в экспоненциальной форме, например  $|2.38E-12|$  (в КОП передаются байты 32Н, 2ЕН, 3ЗН, 38Н, 45Н, 2ДН, 31Н, 32Н) или  $|.077777E+033|$ , или  $|22.E+00|$ , или  $|-.45E-8|$  и т. д. Выражение до символа Е—это мантисса числа, после Е—порядок (степень, в которую возводится 10). В ТД3 используются те же символы, что и в ТД2 (цифры, знаки  $+$  и  $-$ , точка, допускаются пробелы, а также символ Е, отделяющий мантиссу от порядка). Наличие десятичной точки и символа Е является обязательным. Кроме того, использование пробелов после Е запрещено, а число цифр для обозначения порядка может быть только от одной до трех включительно. Форма ТД3 позволяет представлять числа практически в неограниченном диапазоне, поэтому использование индекса совместно с ТД3 целесообразно, особенно для случаев обозначения дольных и кратных единиц физических величин.

Ограничители данных (ОД1, ОД2 и ОД3) имеют строго определенное назначение.

Ограничитель ОД1, состоящий из одного символа, либо «,» (2СН), либо «;» (3ВН), является разделителем между двумя последовательностями, состоящими из ЗД и ТД или их комбинаций (только ЗД, только ТД), например  $|P32, 36,$

Символы, допускаемые к использованию в индексе

Обозначаемая единица, приставка, множитель	Цепочка сим- волов (индекс)	Обозначаемая единица, приставка, множитель	Цепочка сим- волов (индекс)
ампер	A	люмен	LM
арк	ARE	мега ( $10^6$ )	MA
атто ( $-10^{-18}$ )	A	метр	M
бар	BAR	микро ( $10^{-6}$ )	U
Бсл	B	милли ( $10^{-3}$ )	M
ватт	W	минута (время)	MIN
вебер	WB	минута (угол)	MNT
вольт	V	моль	MOL
гекто ( $10^2$ )	H	нано ( $10^{-9}$ )	N
генри	H	ньютон	N
герц	HZ	Ом	OHM
гига ( $10^{-9}$ )	G	паскаль	PA
год	ANN	пета ( $10^{15}$ )	PX
градус (угол)	DEG	пико ( $10^{-12}$ )	P
градус Цельсия	CEL	пуаз	P
грамм	G	санти ( $10^{-2}$ )	C
дека ( $10^1$ )	DA	секунда (время)	S
день	D	секунда (угол)	SEC
деци ( $10^{-1}$ )	D	сименс	SIE
джоуль	J	1/100 прямого угла	GON
единица атомной массы	V	стокс	ST
екса ( $10^{18}$ )	EX	тера ( $10^{12}$ )	T
кандела	CD	тесла	T
кельвин	K	тонна	TNE
кило ( $10^3$ )	K	фарада	F
кулон	C	фемто ( $10^{-10}$ )	F
литер	L	час	HR
люкс	LX	электронвольт	EV

40| (в КОП передаются байты 52Н, 33Н, 32Н, 2СН, 33Н, 36Н, 2СН, 34Н, 30Н), или |2.77Е—03, 8.66Е+17|, или |M126.02, Г45.001Е—01| и т. д. Так как во всех без исключения ЭВМ в качестве разделителя данных используется запятая, то символ «;» в качестве разделителя ОД1 не рекомендуется.

Ограничитель ОД2—более высокого порядка, предназначен для разделения одной группы последовательностей данных от другой. Кодирование ОД2 допускается двумя способами: либо ПС, либо ВК и ПС. В первом случае—это один байт ОАН, во втором—два байта: 0ДН и 0АН, передаваемые один за другим. Примеры использования ОД2: |P3M7D6 ПС 3.63,2,0.01|, или |F\_ 48.2Е+03; K\_ 33.5 ВК ПС F\_48.26Е +03; K\_33.51| и т. д. Ограничитель ОД2 воспринимается в ЭВМ как конец ввода данных от внешнего устройства. Для ввода новых данных в программе необходимо предусмотреть оператор ввода повторно. Аналогично, если ЭВМ сама выдает данные в КОП с помощью операторов вывода, то передачу всей информации она заканчивает также байтами ВК ПС или ПС. В стандарте на КОП рекомендуется, чтобы все модули АИС одинаково реагировали и на ПС, и на ВК ПС.

Ограничитель наивысшего порядка ОД3—это не специальный байт, а низкий уровень в линии КП, который устанавливает источник одновременно (параллельно) с последним передаваемым байтом данных. Например, источник выдает следующую информацию: 02Н, 0F3Н, 44Н, 96Н, 0AVН, 07Н. Все байты, кроме 07Н, передаются обычным образом. Линия КП, управляемая источником, постоянно в высоком. В очередном цикле в состоянии СИГР источник устанавливает на ШД байт 07Н, переводит линию КП в низкое и по «инб»

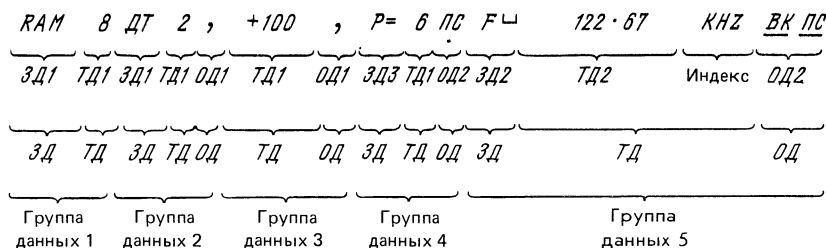


Рис. 2.38. Пример форматированной информации в КОП

переходит в СИЗД (см. функцию СИ). В момент, когда наступает СИПД, низкое КП становится сигналом о том, что передаваемый байт данных последний. Вариант ОДЗ может применяться в сочетании с любым байтом данных, в том числе с ПС, за исключением кодов 2СН и 3ВН (ОД1). В случае стандартного форматированного приема-передачи это избыточно, вполне достаточно ограничителей ОД1 и ОД2. Основным назначением ОДЗ является ограничение двоичных данных, не соответствующих рекомендуемым правилам кодирования. Другого способа сообщить о конце передачи здесь просто нет. Так, осциллограф С9-8 выдает в КОП 2048 байт в кодах аналого-цифрового преобразования видеоимпульса. Среди них может встретиться байт 0АН, который в данном случае будет означать не ОД2, а числовую информацию о мгновенном значении напряжения. Точно так же со всеми остальными байтами. Вариант подсчета числа принятых байтов не всегда доступен в АИС, так как передача может быть прервана или управление передано другой ЭВМ. Поэтому только ОДЗ — единственный способ уведомления приемника об окончании обмена. На рис. 2.38 показан пример нескольких форматированных сообщений интерфейса КОП.

**Управление режимами работы модулей.** Рассмотрим пример кодирования данных для управления генератором сигналов специальной формы (рис. 2.39). Чтобы запустить генератор в работу в автономном режиме (без АИС), инженер или техник последовательно нажимает, например, кнопки «F», «3», «3», «3», «2», «кГц». На индикаторе отображается частота 33,2 кГц, она же поступает на выход генератора. При нажатии кнопок «U», «1», «0», «0», «mV» отображается 100 мВ (и то же на аналоговом выходе). Затем нажимается кнопка «Δ»,

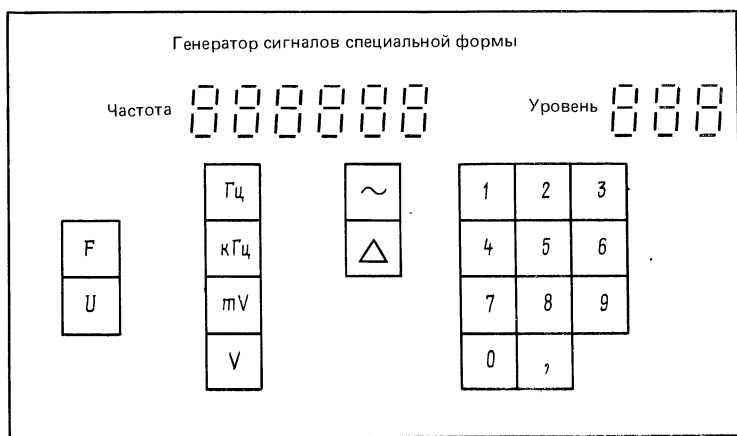


Рис. 2.39. Передняя панель модуля АИС

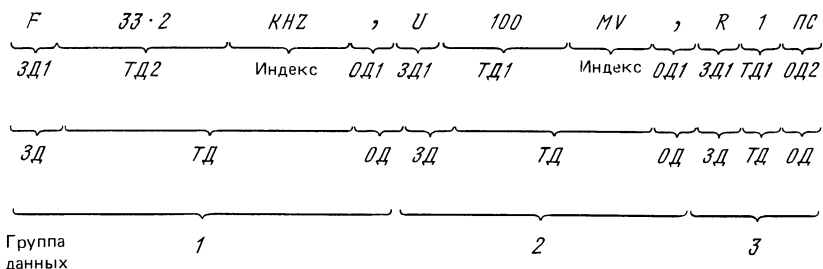


Рис. 2.40. Пример данных для управления режимом работы модуля (по КОП передается: 46Н, 33Н, 2ЕН, 32Н, 4ВН, 48Н, 5АН, 2СН, 55Н, 31Н, 30Н, 30Н, 4ДН, 56Н, 2СН, 52Н, 31Н, 0АН)

и окончательно на выходе появляется сигнал треугольной формы с частотой 33,2 кГц и уровнем 100 мВ. В подавляющем большинстве случаев управление по КОП осуществляется аналогично ручному управлению. Каждая кнопка на передней панели генератора имеет свой код (коды), состоящий из одного или нескольких символов, а посылка этого кода по КОП идентична нажатую соответствующей кнопки в автономном режиме.

Для рассматриваемого генератора кнопка «F» означает F (46Н), «U» — U (55Н); «ГЦ» — HZ (48Н, 5АН); «кГц» — KHZ (4ВН, 48Н, 5АН); «mV» — MV (4ДН, 56Н); «V» — V (56Н); группа кнопок формы сигнала R (52Н): «~» — R0 (52Н, 30Н); «Δ» — R1 (52Н, 31Н); кнопки цифр — соответствующие коды цифр (30Н, 31Н, ..., 39Н); кнопка «.» — (2ЕН) — десятичная точка.

Тогда для того, чтобы в АИС в дистанционном режиме установить рассмотренный режим, необходимо передать по КОП данные, приведенные на рис. 2.40. При соответствующей организации дешифратора в приборе в формате данных можно обойтись и без ОД, т. е. сократить посылку данных до следующего вида: |F33.2 KHZU 100MV R1|. И с ограничителями, и без них последовательность групп данных принципиальна, например |R1F33.2KHZU100MV| или |U100MV R1F33.2KHZ| обеспечит перевод генератора в тот же самый режим. Если теперь послать только |R0|, то генератор перейдет в режим выдачи синусоидального сигнала. Если нужно изменить частоту, достаточно послать |F33.25 KHZ| и т. д. Вот почему управление по КОП в модулях АИС, как правило, не оператор, а управляющая программа, посылая через интерфейс коды тех же самых кнопок. Достаточно часто в системных приборах коды кнопок совпадают с их наименованиями или снабжены соответствующими надписями.

Данные, посылаемые от ЭВМ к модулям и необходимые для изменения режимов их работы, в соответствии со стандартом называются программными данными. Кодирование и форматирование программных данных в основном соответствуют общим правилам и характеризуются только незначительными ограничениями и особенностями:

число последовательностей (групп данных) 3Д — ТД — ОД не ограничено;

любая последовательность должна начинаться с 3Д, например |A1| или |ВДЕ 30| и т. д. (вариант использования ТД без 3Д недопустим);

ограничитель в конце всех программных данных, а также между последовательностями может быть любой из ОД1, ОД2 и ОД3, а также просто отсутствовать, например допустимо и |A1, A2|, и |A1; A2|, и |A1 ПС A2|, и |A1 ВК ПС A2|, и |A1 A2|, и т. д.;

последовательность может состоять только из заголовков данных (т. е. без ТД), например |A, F, K, Z, D=M|, |A; B; C; D, E, F| и т. д.;

после 3Д может быть несколько ТД, разделенных ОД1, а 3Д также может быть отделен от ТД посредством ОД1, например |R10, 15, 22M28, 46| или |S=K, 2,6 ПС| и т. д.

Стандартное форматирование и кодирование программных данных должно быть реализовано в подавляющем большинстве модулей АИС, во всяком случае, во всех измерительных приборах. Но если модулем является дисплей или вспомогательная ЭВМ, правила кодирования и форматирования не регламентируются и приводятся только в технических описаниях.

Кроме стандартного и произвольного подходов к форматированию программных данных существует еще и смешанный подход, получивший название самообучения. Пусть прибор имеет множество режимов работы (более миллиона). В ряде случаев при разработке АИС на таких модулях удобнее подобрать нужный режим работы вручную, скажем отстроить осциллограф или анализатор на требуемый сигнал. Эта же операция с помощью поочередной выдачи сначала одних кодов от ЭВМ, а затем новых неэффективна. Именно тогда необходимо самообучение. Разработчик вручную выставляет органы управления в модуле в требуемый режим, а затем по специальным командам от ЭВМ прибор переводится в режим выдачи данных о состоянии органов управления. Не ЭВМ передает прибору программные данные, а наоборот, модуль выдает в ЭВМ свои программные данные, которые затем используются в управляющей программе АИС для установки его же в этот режим. Часто в состоянии самообучения предусматривается передача не стандартных кодов и форматов, а обычных двоичных. Это особенно эффективно при большом числе программируемых органов управления. Двух байтов здесь может быть достаточно, так как количество комбинаций равно 65 536. Программист в этом случае не испытывает неудобства, потому что код ему сообщает сам прибор, а сокращение общего числа кодов, посылаемых прибору, обеспечивает увеличение производительности АИС в целом.

**Прием результатов работы модулей.** Результатами работы модулей, которые передаются по КОП в ЭВМ, являются:

- измеренные значения параметров исследуемого объекта;
- описание состояния органов управления (самообучение);
- описание внутреннего состояния модуля (нормальное, ненормальное, что конкретно ненормально и т. д.);

- массивы двоичных данных, интерпретирующие либо текст программы, либо данные о форме или спектре сигнала и т. д.

Стандартные правила кодирования и форматирования относятся в основном только к первому из перечисленных случаев и именуются данными измерений. Данные измерений — это та же самая информация, которую оператор получает визуально, наблюдая за индикационной панелью прибора. Так, частотомер ЧЗ-64 показывает результат 2,75 МГц. На его индикаторе высвечивается «2», «.», «7», «5», «0», «0» и «МГц». Практически эти же символы передаются и в ЭВМ через КОП, в данном случае |2.75E+06ПС| (по КОП передаются байты: 32Н, 2ЕН, 37Н, 35Н, 45Н, 2ВН, 30Н, 36Н, 0АН).

Правила кодирования и форматирования данных измерений, так же как и программных данных, в основном соответствуют общим требованиям, изложенным выше, но имеют отдельные особенности: а) индекс в данных измерений недопустим; б) практически все специальные знаки также недопустимы (разрешены только буквы латинского алфавита, цифры, «+», «-», «.», пробел и все типы ограничителей); в) недопустимо исключение цифровой части, а именно ТД1, ТД2 или ТД3, а также ограничителя ОД2 или ОД3, например |36 ПС| или |1.111 ВК ПС| и т. д. (разрешается исключение только заголовка данных); г) если модуль передает сразу несколько результатов измерений, то они должны быть разделены ограничителем ОД1, например |600, 12.54Е—10, 0, 1 ПС| или |2.65, 3.3 ПС| и т. д.

В стандартном (описанном выше) формате могут быть переданы и другие данные: состояние прибора, массивы точек, несущих информацию о виде сигнала, и т. д. В этом случае целесообразно, чтобы в модуле была предусмотрена возможность варьирования форматом выдачи данных, так как стандартный формат здесь неэффективен. Описание положений органов управления лучше всего выдавать в формате программных данных. Тогда эту же строку ЭВМ может без преобразований послать обратно в прибор. Для массивов точек

о форме сигнала, поступающих от цифрового осциллографа, наиболее выгодно использовать двоичное кодирование (при условии восьмиразрядного аналого-цифрового преобразователя): ординату от 0 до 255 передавать не тремя байтами, а одним (предположим, для 129 это будет не 31Н, 32Н и 39Н, а 81Н). Здесь не нужен и ограничитель между двумя соседними значениями, потому что каждый байт — значащий и единственный, описывающий точку. Такое кодирование проще преобразуется ЭВМ в числовую форму, а все сообщение в 3...4 раза короче. При 2048 или 1024 точках (характеристики современных осциллографов) повышение производительности АИС является существенным. Если разрядность аналого-цифрового преобразователя превышает восемь, то каждая точка может кодироваться двумя байтами.

Для всех нестандартных форматов выдаваемых данных единственно возможным ограничителем последовательности данных (всех передаваемых в одном нормальном цикле передачи) является ОДЗ.

**Байт состояния.** Порядок выдачи и назначение байта состояния (БСТ) в стандарте на КОП строго регламентированы. Это концентрированная информация о функциональном состоянии модуля, заключенная в одном-единственном байте, передаваемом по КОП в ЭВМ источником, находящимся в состоянии СПСА. Программист при создании АИС закладывает в управляющую программу перевод модулей то в СИАК, то в СПСА. В первом случае модуль должен передавать результаты работы, а во втором — БСТ.

Как и любой байт, БСТ состоит из восьми битов, причем каждый из них является значащим. С учетом требований КОП в БСТ не входит ЛД6 (седьмой бит), так как он задействован на сообщение ОБЗ (обслуживание запрашивается), и весь байт, передаваемый при СПСА, нужно называть ОБЗ и БСТ. Для краткости большинство пользователей и разработчиков именуют весь байт БСТ, подразумевая, что в него включается и ОБЗ.

Назначение битов в БСТ:

ЛД7 — редко используется как значащий, предназначен для удвоения количества информации, заключенной в битах ЛД3, ЛД2, ЛД1 и ЛД0. Пусть ЛД3 — ЛД0 равно 1001. Тогда если ЛД7=1, то предположим, что 1001 — информация об ошибке ввода данных, а если ЛД7=0, то 1001 — перегрузка в измерительных цепях. Дословно бит ЛД7 именуется в стандарте как «расширено — не расширено». Допускается и любое другое назначение бита ЛД7, укладываемое в требование «расширено — не расширено». Наличие ЛД7=1 может означать, что в приборе сформировано подробное описание его состояния, которое можно получить через СИАК как обычные данные о результатах работы. Это будет являться дополнительной (расширенной) информацией по сравнению с содержащейся в БСТ;

ЛД6 — это бит ОБЗ; ЛД6=1, если ЭВМ принимает БСТ от прибора, который запрашивал обслуживание по КОП через линию ЗО (см. функцию З), т. е. находился в ЗСОБ и после СПСА перешел в СПРЗ, и ЛД6=0, если прибор не запрашивал обслуживания (СОРЗ). Следует подчеркнуть, что «зно» и ОБЗ не эквивалентны. Модуль может находиться в состоянии, требующем обслуживания ЭВМ. Однако причина, вызывающая это состояние, может быть замаскирована. В данном случае ни низкого ЗО, ни ЛД6=1 выдаваться не будет. Практически можно считать, что ОБЗ=ЛД6=1 — это продолжение низкого ЗО в БСТ до тех пор, пока не исчезнут «зно» в модуле. Бит ОБЗ — единственный, с помощью которого можно узнать о том, какой прибор требовал обслуживания. Поэтому в СПСА запрещено изменять ОБЗ, в то время как БСТ может стать другим, если внутреннее состояние прибора стало иным. Более того, если модуль вывести из СПСА (например, в СИАД или СИХХ), а затем повторно принять байт состояния, то по ЛД6 в ЭВМ будет передан низкий уровень (ЛД6=ОБЗ=1), если причина «зно» не устранена (не было перехода из СПРЗ в СОРЗ). Значит, ОБЗ=1 не только в случае, когда именно данный модуль выдавал низкое ЗО.

Рассмотрим характерный пример. Пусть АИС состоит из двух модулей. Оба требуют обслуживания через низкое ЗО. Машина принимает БСТ и ОБЗ от первого прибора; ОБЗ=1, так как он выдавал низкое ЗО. Одновременно



с СПСА в первом модуле выполняется переход из СЗОВ в СПРЗ, в котором линия ЗО переводится им в высокое. Очевидно, низкое ЗО удерживается только вторым прибором, у которого СЗОВ активно. Если (пусть даже после разаддресации первого модуля) опять принять от него БСТ и ОБЗ, то ОБЗ снова будет равно 1. Никакого парадокса здесь нет: ОБЗ отражает состояние СПРЗ, которое как раз и присутствует в первом модуле (причина «зно» в нем не устранена). Оба прибора по-прежнему требуют обслуживания;

ЛД5—бит, отражающий суммарное состояние прибора, а именно: ЛД5=1—ненормальное состояние модуля по любой значимой и предусмотренной разработчиком причине; ЛД5=0, когда все узлы и блоки работают нормально. Управляющей ЭВМ, чтобы убедиться в работоспособности АИС, достаточно получить БСТ от всех приборов и проанализировать ЛД5;

ЛД4—бит занятости, с помощью которого модуль информирует ЭВМ о нежелательности или неготовности к приему новых данных (изменению режима работы), так как он еще не закончил выполнение предыдущих инструкций. Пусть измерительному прибору задан режим измерений и выдана команда ЗАП. Измерение длится 1,2 с. Тогда с момента получения ЗАП и до завершения измерения (в течение 1,2 с) по ЛД4 в БСТ будет выдаваться 1. По истечении 1,2 с ЛД4 станет равным нулю. Использование ЛД4, так же как и чтение низких ГП и ДП (СПНГ) при СПАК, позволяет создавать АИС, работающие в реальном масштабе времени (синхронно с измерительными и функциональными ресурсами модулей);

ЛД3, ЛД2, ЛД1, ЛД0—четыре бита, назначение которых определяет разработчик прибора, и так же как для ЛД7, им дается определение в техническом описании модуля. С помощью ЛД3—ЛД0 можно закодировать до 16 различных причин «зно», которые суммарно отражаются в ЛД6—ЛД4. Если применять ЛД7, то их допустимое число удваивается, т. е. оказывается равным 32. Теоретически, комбинирруя ЛД7 и ЛД5, эту цифру можно довести до 64. Если причин «зно» больше, необходимо объединить их в группы, а детальную расшифровку дать не в БСТ, а в данных, описывающих состояние прибора и передаваемых при активном СИАК, а не СПСА. Кодирование 16 причин «зно» в БСТ с помощью ЛД3—ЛД0, а тем более 64 неудобно для АИС, так как в итоге ЭВМ будет иметь информацию только об одной причине «зно». При возникновении одновременно двух и более причин их идентификация станет невозможной. Поэтому целесообразно в БСТ по битам ЛД3—ЛД0 также выдавать суммарную информацию о состоянии прибора, разбив все «зно» на четыре группы. Каждой группе приписывается свой бит. Детальную расшифровку можно проводить обычными данными. Такой подход обеспечивает возможность одновременного получения совокупной информации о состоянии прибора. На рис. 2.41 приведен типовой пример БСТ.

**Обучение работе с модулем по КОП.** Приведем порядок действий.

1. Приготовить измерительный прибор (модуль), техническое описание, инструкцию по эксплуатации (информация об интерфейсе КОП может содержаться в обоих документах), а также ЭВМ или тестер КОП—любое из имеющихся в наличии устройство управления (УУ).

2. Соединить кабелем КОП прибор и УУ.

3. С помощью пяти адресных переключателей установить индивидуальный адрес прибора в КОП, равный 04Н (средний тумблер из пяти—в положение 1, остальные—в 0).

4. Если есть тумблеры «тпд» и «тпм», то установить их в положение, соответствующее отсутствию режимов «только передавать» и «только принимать».

5. Найти наиболее простой режим работы прибора, управление которым возможно по КОП. Так, вполне достаточно переключить только одну из кнопок, расположенных на передней панели. Определить в ТО или ИЭ код или коды, которые нужно передать, чтобы прибор установился в выбранный режим. Особое внимание следует обратить на необходимость (если таковая имеется) послышки ограничителя, а также команды ЗАП.

6. С помощью УУ передать в КОП по адресу 04Н эти коды и, если необходимо, ЗАП по тому же адресу.

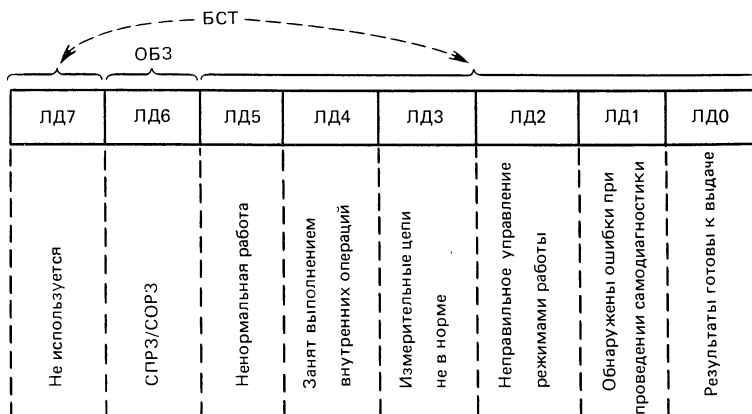


Рис. 2.41. Типовой пример БСТ

7. Если прибор установился в требуемый режим, продолжить испытания с п. 9.

8. Если режим не установился, то:

либо неправильно переданы коды, тогда следует изучить их еще раз и попытаться передать заново, в том числе целесообразно варьировать различными режимами работы;

либо неправильно установлен адрес, тогда, не меня индивидуального адреса, достаточно передать те же данные, но по адресу 1ВН (см. табл. 2.4), а не 04Н;

либо неправильно установлены тумблеры «тпм» и (или) «тпд», тогда необходимо установить их в противоположное положение.

Варьируя этими тремя причинами и повторяя пп. 6 и 7, необходимо добиться установления выбираемых режимов. Следует обратить внимание на индикаторы (если они имеются в приборе) «ПРД», «ПРМ» и «ДУ» (вместо «ПРМ» может быть маркировка «прием», «СПАД», «СПАК» или другие, созвучные с приемом; вместо «ПРД» — «передача», «СИАД», «СИАК» и т. д.; вместо «ДУ» — «СДСТ» и т. д.). Если после включения горит «ПРД», «ПРМ» или оба, то тумблеры «тпд», или «тпм», или оба соответственно установлены неверно. Необходимо переключить их и выключить — включить «сеть» прибора. Если после передачи кодов для установления выбранного режима загораются «ПРМ» и «ДУ» («ПРМ» может тут же и погаснуть), то адрес установлен и передается правильно. Искать ошибку следует только в кодах.

Испробовав все варианты трех возможных ошибок и убедившись, что все делается правильно, можно сделать заключение о неработоспособности прибора в КОП. Исключение составляют, естественно, те приборы, в которых отсутствует возможность управления режимами работы. Для них необходимо проделать примерно то же самое, но в сочетании не с пп. 6—8, а с пп. 9 и 10.

Следует помнить, что прием и отработка данных возможны только в СДСТ или СДСЗ (см. функцию ДМ), для чего линия ДУ должна быть предварительно (до передачи кодов) переведена в низкое.

9. С помощью УУ принять данные от прибора. Адрес уже точно известен. Единственная помеха может заключаться в необходимости перед получением данных специально запрограммировать прибор в режим выдачи данных.

10. Если прием идет, перейти к п. 12.

11. Отсутствие приема может быть вызвано либо неправильным выбором ограничителя в УУ (несоответствием его тому, который выдает прибор), либо малым временем между программированием в режим и попыткой приема. Необходимо исключить допущенные ошибки.



Орган управления или режим	Кодирование по КОП
$R$ (измерение сопротивления)	F1
$U$ (измерение переменного напряжения)	F2
• • •	• • •
 (однократный ручной запуск)	G1
 (циклические измерения)	G0

Рис. 2.42. Пример таблицы кодов кнопок и режимов работы

Если прибор выдает большие массивы данных, то лучше всего использовать операторы управления КОП, заложенные в УУ, в которых прием заканчивается не по ограничителю, а по числу принятых байтов. Например, можно принять только 5 байтов или только 7. Эту же процедуру целесообразно выполнить и в обычных приборах, если прием в УУ не получается.

12. С помощью УУ принять БСТ.

13. Если БСТ принят (все равно какой), то перейти к п. 15.

14. Проверить, послана ли команда ОПО, а может быть в приборе не реализована функция И1, И2, И5, И6, а выполнена И3, И4, И7 или И8, при которой возможность передачи БСТ не предусмотрена.

15. В целом прибор работоспособен в КОП. Известно, как устанавливать в нем адрес, тумблеры «тпм» и «тпд».

16. Изучить перечень основных интерфейсных функций, реализованных в приборе (СП, П—прием; СИ, И—передача; З, И—передача БСТ; ЗП—возможность запуска через КОП; СБ—установка в исходное состояние; ДМ—блокировка передней панели, обратить внимание на кнопку «внм»).

17. Составить таблицу кодов кнопок и режимов работы. Для этого можно использовать форму, показанную на рис. 2.42.

18. Нарисовать диаграмму формата программных данных, например, как показано на рис. 2.43.

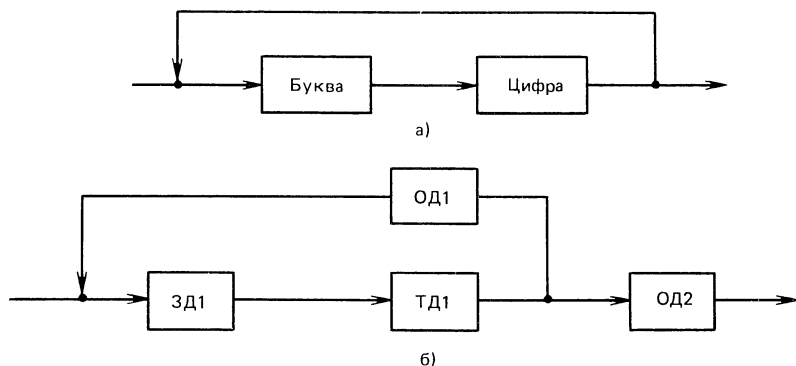


Рис. 2.43. Примеры диаграмм для форматов программных данных

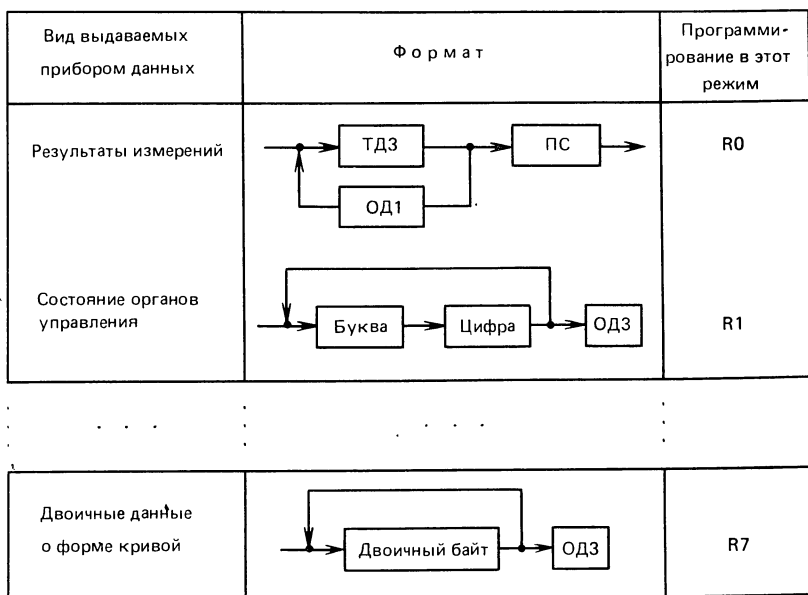


Рис. 2.44. Пример таблицы для выдаваемой информации

19. Составить перечень видов выдаваемой информации, соответствующих ей форматов, а также программных данных, необходимых для ее получения (примерный вид такой таблицы показан на рис. 2.44).

20. Составить таблицу причин «зно», соответствующих им БСТ, условий возникновения и снятия, например, как показано на рис. 2.45.

21. Разобраться, сколько времени, в каких режимах и каким образом прибор исполняет команды СБУ, СБА и ЗАП.

Но- мер п/п	БСТ						Условия возникновения	Условия снятия
	ЛД7	ЛД5	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0		
ЗНО <sub>1</sub>	0	1	0	0	0	1	Перегрузка на входе прибора	Изменить режим работы, передать сброс
ЗНО <sub>2</sub>	0	1	0	0	1	0	Ошибка памяти	Ремонт прибора
ЗНО <sub>3</sub>	0	1	0	0	1	1	Режим не установлен из-за неправильно введенных данных	Новые данные, сброс

... ..

Рис. 2.45. Пример таблицы для причин «зно»

22. Рассчитать временные характеристики работы прибора по КОП по приведенному ниже образцу<sup>1</sup>.

Время приема команд:		
максимальное, мс .....	20	
минимальное, мкс .....	10	
Режимы, в которых есть задержка .....		тестирование, калибровка
Время приема 1 байта данных, мкс .....	100	
Время передачи 1 байта данных, мкс .....	100	
Время передачи данных, мс:		
измерений .....	2,5	
состояния органов управления .....	10	
массива двоичных данных .....	102,4	
Время передачи БСТ, мкс .....	100	
Время исполнения сброса, с .....	1	
Время исполнения запуска, с .....	1	

## 2.4. Расширение функциональных возможностей интерфейса КОП

**Универсальные интерфейсные карты.** При создании АИС достаточно часто появляется необходимость включать в систему те или иные модули, не имеющие встроенных средств поддержки интерфейса КОП. Таким модулем может быть электронно-счетный частотомер ЧЗ-54, в котором не реализовано стандартное дистанционное управление через КОП, но предусмотрена возможность изменения режимов работы передач различных комбинаций потенциальных ТТЛ-уровней на контакты специального разъема. Выдача результатов производится через интерфейс 8—4—2—1. После оснащения АИС вспомогательным устройством, согласующим работу ЧЗ-54 с КОП, использование этого частотомера в системе ничем не отличается от использования прибора ЧЗ-64, в котором интерфейс КОП реализован априори. Точно так же с помощью подобных адаптеров, которые получили название «интерфейсных карт» (ИКАР) [14], к АИС через КОП могут быть подключены самые разнообразные устройства (шаговые электродвигатели, поворотные платформы, преобразователи, источники питания, специализированные наборы контакторов, коммутаторов, печатающие устройства, графопостроители и др.).

Наряду со специальными ИКАР, ориентированными на конкретный тип модуля, более эффективным является применение заранее созданных универсальных ИКАР, предназначенных для сопряжения КОП с большим набором разнообразных модулей. В этом случае разработка конкретных средств сопряжения заключается только в изготовлении переходного кабеля от ИКАР к модулю. Платой за универсальность по сравнению со специальными ИКАР является незначительное снижение быстродействия и функциональная избыточность. Эти потери несоизмеримы с преимуществами—сокращением времени и простотой создания АИС с помощью универсальных ИКАР, их более высокой надежностью (за счет профессиональной разработки и серийного выпуска).

Универсальная ИКАР состоит из четырех функциональных блоков (рис. 2.46): обеспечения электрической (БОЭС) и информационной (БОИС) совместимостей, управления модулем (БУМ) и приема данных (БПД). Два из них—БОЭС и БОИС—являются неизменными для всех ИКАР. Их назначение—реализация основных интерфейсных функций КОП, а именно СИ, СП, И и П, а также

<sup>1</sup> Отдельные данные в техническом описании и инструкции могут отсутствовать. В этом случае следует оставить свободные места и заполнять их по мере практической работы с модулем, которая должна начинаться независимо от числа свободных клеток таблиц.

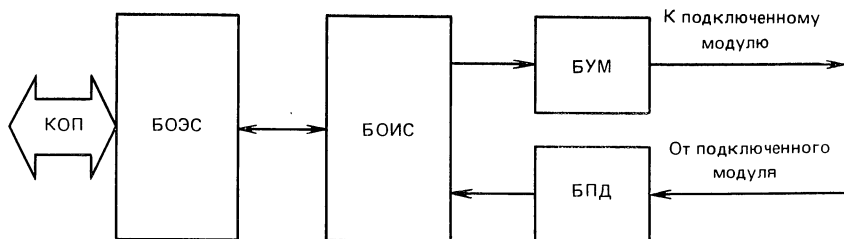


Рис. 2.46. Структурная схема универсальной ИКАР

буферизация входных и выходных цепей в соответствии с требованиями электрической совместимости. Функция СП в ИКАР необходима для синхронизации приема команд. Функции СП и П совместно с БУМ обеспечивают управление режимами работы подключаемого модуля. Функции СИ и И в сочетании с БПД позволяют принимать в КОП результаты измерений и другие данные, выдаваемые подключаемым модулем. Кроме того, в рамках БОИС могут быть реализованы функции З, СБ, ДМ и ЗП, если в модуле предусмотрена возможность блокировки ручного управления или однократного запуска, и т. д. Дополнительные аппаратные затраты на эти функции незначительны, а универсальность ИКАР возрастает. Пример схем БОЭС и БОИС, доступных для изготовления в лабораторных условиях, приведен на рис. 2.47. Реализация интерфейсных функций в ИКАР, в том числе и в приведенном на рис. 2.47 примере, в основном совпадает с рассмотренными ранее в § 2.3. В качестве возбудителей сигналов КОП в выходных цепях использованы микросхемы 155ЛА13 и нагруженные на их выходы резисторы 3 и 6,2 кОм, как того требует ГОСТ 26.003—80, в качестве приемников КОП—микросхемы 155ЛН1.

Схемы БОЭС и БОИС обеспечивают:

квантование моментов, когда информация, поступающая с ШД на БУМ или от БПД, достоверна;

выдачу в подключаемый модуль потенциального ТТЛ-уровня «дист» (см. рис. 2.47), позволяющего блокировать ручное управление в соответствии с правилами работы функции ДМ2;

выдачу в подключаемый модуль импульса «пуск» длительностью 1 мкс, инициируемого командой ЗАП;

выдачу в подключаемый модуль импульса «сброс» длительностью 1 мкс, инициируемого командами СБУ и СБА;

выдачу в КОП низкого ЗО в ответ на любой из четырех различных запросов подключаемого модуля («зно<sub>1</sub>», «зно<sub>2</sub>», «зно<sub>3</sub>», «зно<sub>4</sub>») и формирование соответствующих БСТ и ОБЗ.

Устройства БУМ и БПД в целом характеризуются меньшей степенью универсальности, так как дистанционное управление и считывание в подключаемых модулях могут быть выполнены различными способами. На рис. 2.48 и 2.49 приведены схемы БУМ и БПД, в которых реализован ряд наиболее часто встречающихся видов дистанционного управления.

Схема БУМ обеспечивает простой (без специальных сигналов сопровождения) вывод 96 потенциальных ТТЛ-уровней. До 32 из них могут быть одноразрядными регистрами (все порты С в ППИ) с независимым управлением либо четырьмя восьмиразрядными регистрами. Остальные 64 вывода (порты А и В в ППИ)—восемь восьмиразрядных регистров. Рассмотрим работу БУМ на примере. Пусть необходимо перевести в низкое состояние выходы 1, 2, 5 и 96. Для этого по КОП достаточно передать следующую информацию: [ @A014G @DF7G ]. Выдача символа «@» обеспечивает перевод всех триггеров набора (МС7—13) в исходное состояние, а именно: ни один из ППИ не выбран, на всех входах порта D низкий уровень, а на адресных входах ППИ—также нули. Посылка «0», «1», и «4» переводит требуемые входы порта D в активное состояние (единицу). По коду «G» осуществляется запись трех высоких и пяти низких (оставшихся)

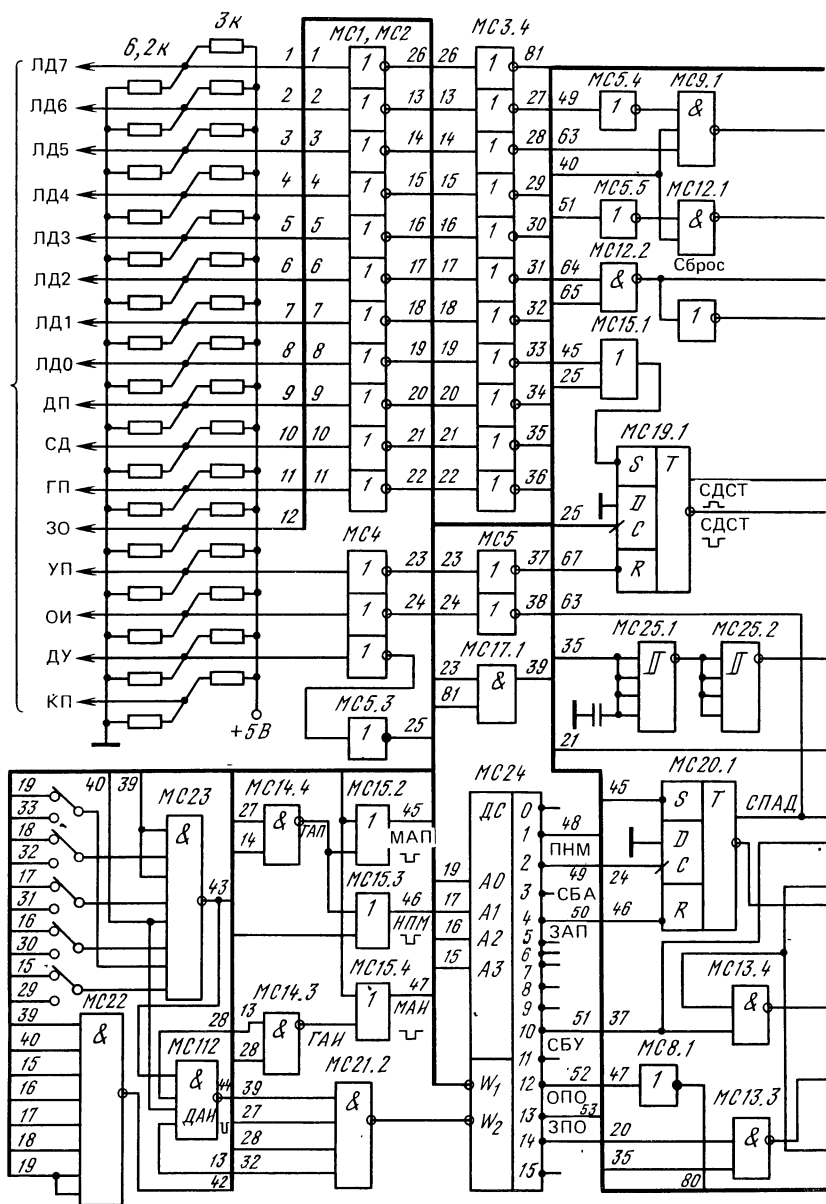
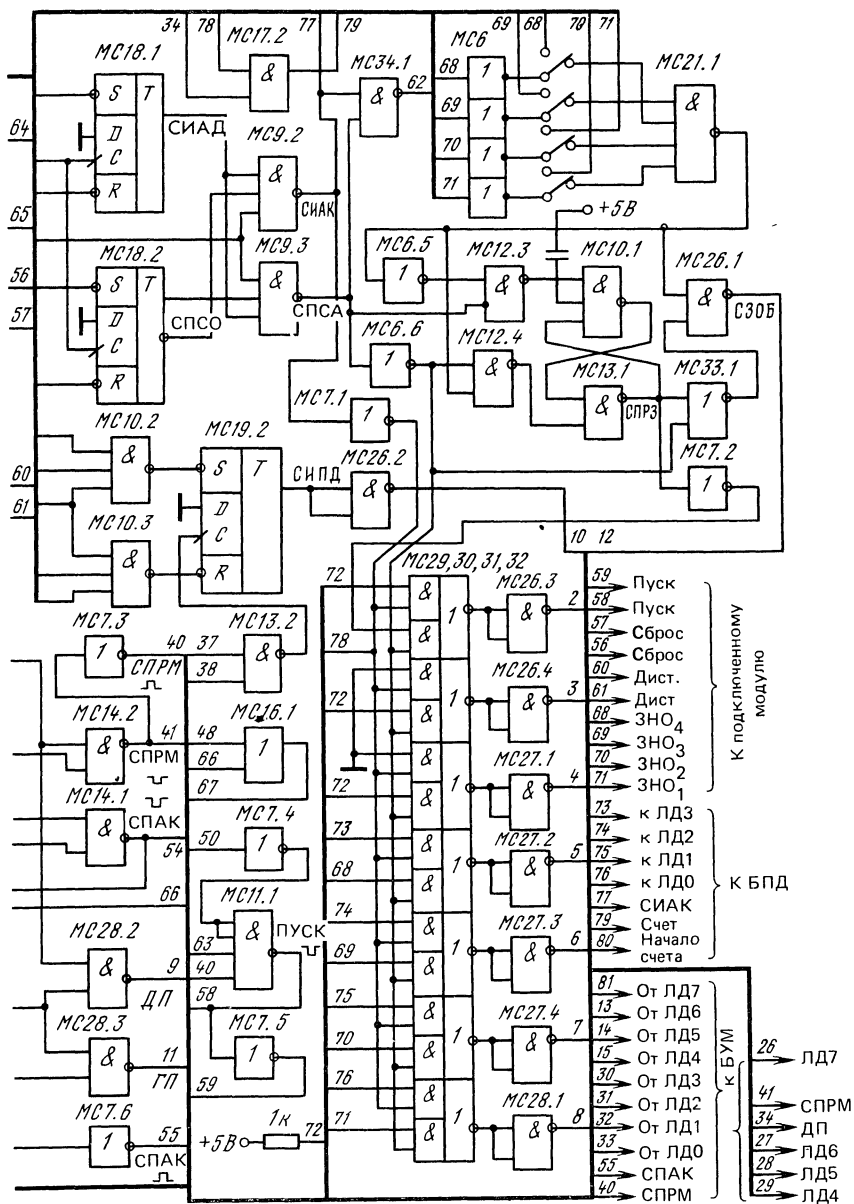
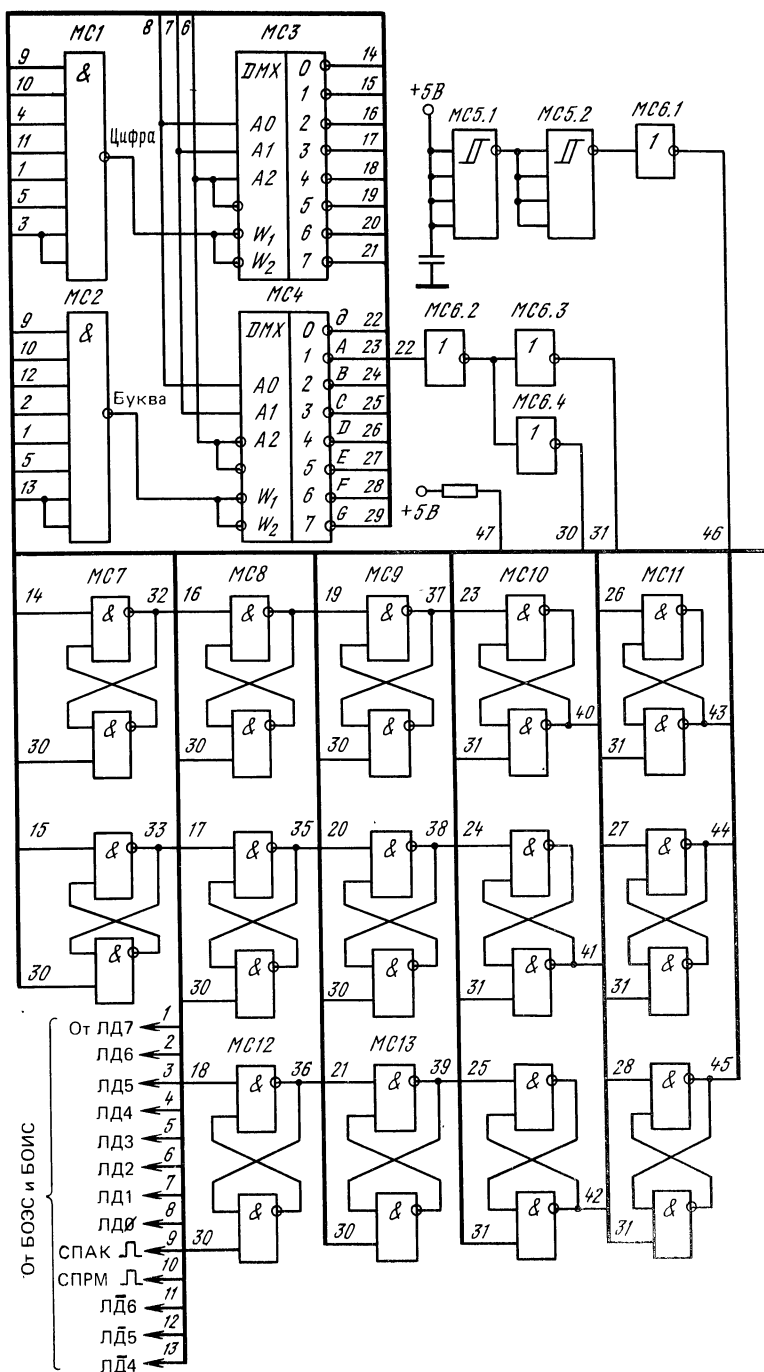


Рис. 2.47. Схемы БОЭС и БОИС



для универсальной ИКАР





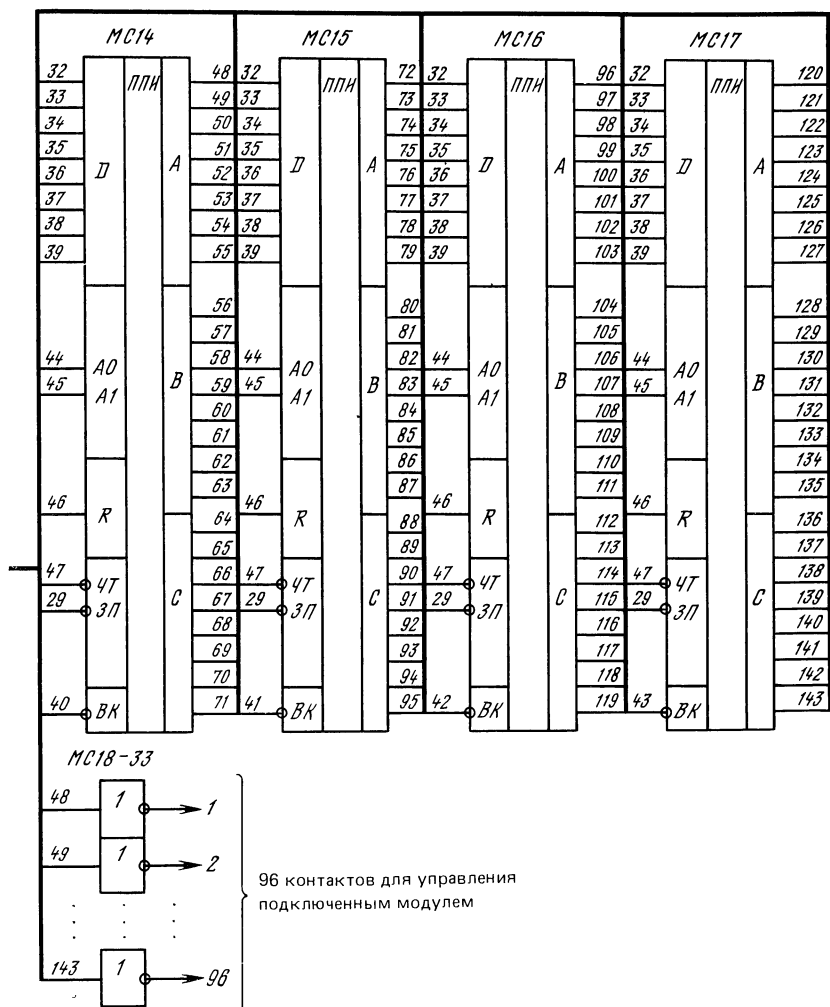


Рис. 2.48. Схема блока управления модулем для универсальной ИКАР

уровней в порт А (так как на А0 и А1 стоят нули), откуда через инверторы МС18—33 требуемые сигналы поступают на подключаемый модуль. Аналогично низкий уровень будет выставлен на 96-м выходном контакте.

Нетрудно убедиться, что подобное управление не позволяет изменить, например, уровень на выходе 2, не повторяя при этом все остальные уровни на выходах 1, 3—8, так как все они принадлежат одному порту ППИ. Программист должен либо постоянно помнить об этом, либо изменить схему соединений КОП и подключаемого через ИКАР модуля: выходы, управлять которыми удобнее независимо от других, следует завести через порты С на ППИ. Тогда установить, например, 96-й контакт в низкое можно через управляющий порт ППИ с помощью посылки `|@DEF4567G|`. При этом ни на 95-м, ни на 94-м и т. д. выходах уровни не изменятся.

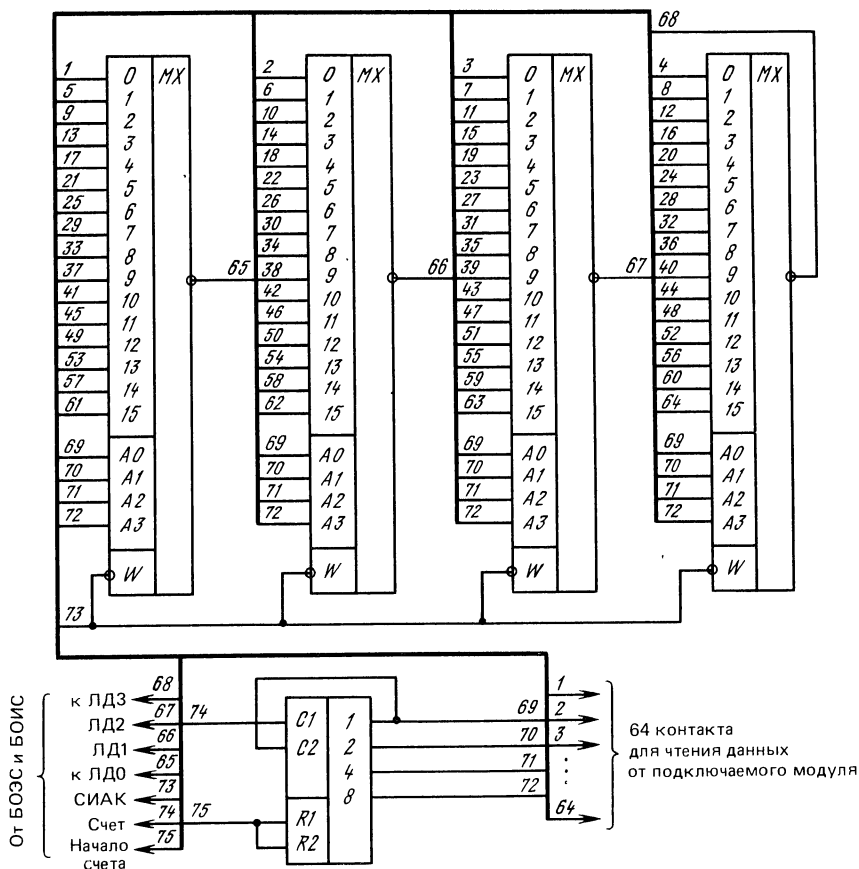


Рис. 2.49. Схема блока, приема данных для универсальной ИКАР

Приведенная схема БУМ позволяет выполнять также стробируемый вывод данных как программным путем, используя ППИ в режиме «0», так и программно-аппаратно, программируя предварительно ППИ в режим «1». При этом можно использовать импульсные сигналы «пуск» и «сброс», инициируемые адресными командами ЗАП и СБА, и сигналы «зно.»—«зно.». Создание ИКАР с БУМ (см. рис. 2.48) позволяет подключать к КОП широкий спектр различных модулей, управление которыми осуществляется ТТЛ-уровнями.

Если для управления модулем необходимы иные электрические сигналы, то наиболее просто также использовать схему БУМ, добавив к ее выходу только согласующие элементы, например релейные (рис. 2.50) или аналоговые (рис. 2.51) каналы. С учетом таких изменений возможности БУМ по подключению к КОП различных устройств практически неограниченны. В ряде случаев для аналоговых каналов (когда схема, приведенная на рис. 2.51, не удовлетворяет по быстродействию) можно отказаться от универсального БУМ и сделать иной блок, например, как на рис. 2.52. В нем организовано два десятиразрядных аналоговых канала. Предварительно (на первом, втором, третьем и четвертом байтах) информация из КОП записывается во внутренний регистр, а вместе с пятым байтом она поступает на оба канала к схемам цифро-аналоговых преобразователей.

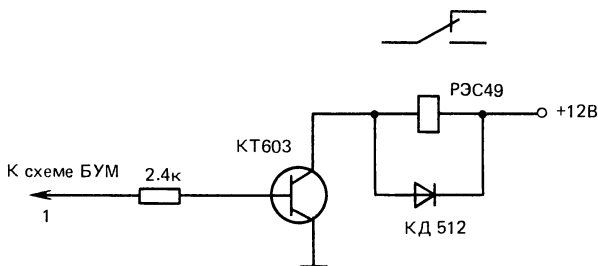


Рис. 2.50. Релейный канал

Схема БПД (см. рис. 2.49) обеспечивает прием в КОП от подключаемого модуля до 64 значений ТТЛ-уровней. Информация вводится за 16 четырехрядных тактов, которые подступают на ЛД3, ЛД2, ЛД1, ЛД0. На старших разрядах постоянно формируется код 0011 (МС29, 30 на рис. 2.47), обеспечивая тем самым ввод в КОП только символьной информации. Такая схема БПД удобна для модулей, выдающих информацию по протоколу интерфейса 8—4—2—1. Однако ее можно использовать в стробируемом вводе, а также при других условиях, реализованных в подключаемых модулях. Создание специальных схем и ИКАР для ввода в КОП аналоговой информации неэффективно, так как для этой цели предназначены цифровые вольтметры и осциллографы.

На практике к одной универсальной ИКАР, выполненной по схемам, приведенным на рис. 2.47—2.49, подключают до восьми различных приборов и устройств, чем сокращаются аппаратные затраты на АИС в целом и магистраль КОП не перенасыщается приемниками и источниками. При создании АИС такие или подобные универсальные ИКАР оказываются незаменимыми.

**Увеличение протяженности магистрали.** В соответствии с требованиями стандарта на интерфейс КОП максимальная протяженность его магистрали не должна превышать 20 м, а длина единичного кабеля—4 м. Это обусловлено электрическими характеристиками используемых в интерфейсе приемников и возбuditелей сигналов в линиях, а также выбранной системой обеспечения помехоустойчивости. Поэтому, если в состав АИС требуется включить модуль, который должен располагаться не в непосредственной близости к исследуемому объекту, т. е. на расстоянии хотя бы 10 м от аппаратуры (что достаточно часто встречается на практике), необходимо предусматривать специальные переходные устройства—повторители магистрали КОП.

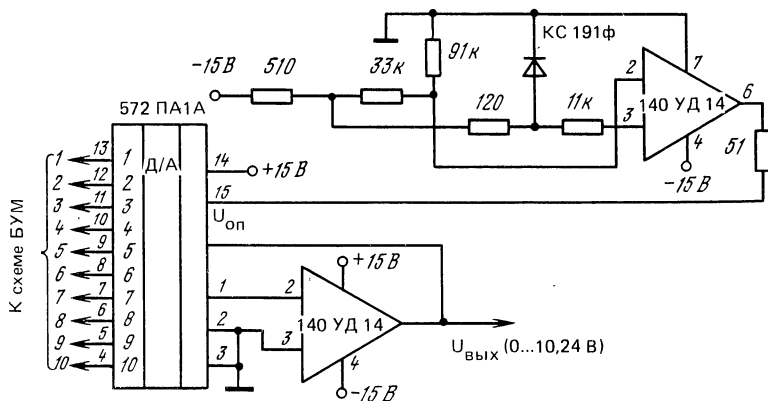


Рис. 2.51. Аналоговый канал

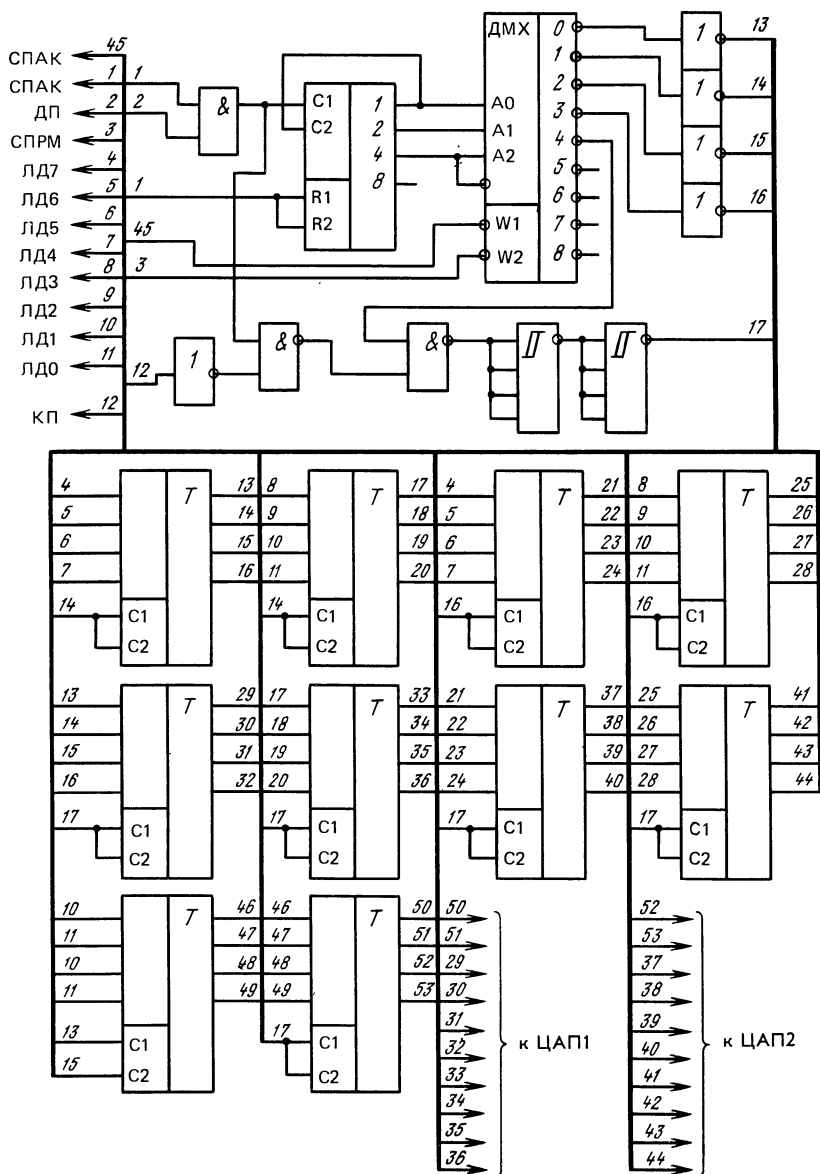


Рис. 2.52. Схема специального блока вывода аналоговых сигналов

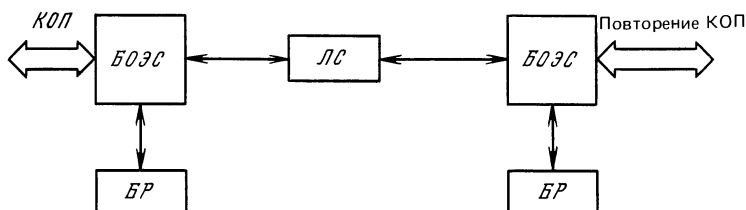


Рис. 2.53. Функциональная схема повторителя КОП

Использование повторителей позволяет полностью снять ограничение на длину единичного кабеля и общую протяженность и частично — на число модулей. К каждому повторителю может быть подстыковано до 14 модулей дополнительно, не считая тех 14, которые уже вошли в состав ядра системы. Основу системы (рис. 2.53) составляет блок ретранслятора (БР), иницирующий двунаправленную передачу сигналов по линии связи (ЛС). Блоки обеспечения электрической совместимости предназначены только для прямого и обратного преобразования сигналов с входов и выходов ЛС в электрические сигналы, используемые в интерфейсе КОП. Параметры и характеристики ЛС, например, на основе коаксиального кабеля с преобразователем параллельного кода в последовательный или волоконно-оптического кабеля определяют максимальную длину, на которую можно увеличить протяженность магистрали КОП.

Схема простейшего двунаправленного ретранслятора приведена на рис. 2.54. Учитывая, что число линий в КОП — 16, идентичные схемы должны быть включены в каждую из них. В процессе отладки пользователю необходимо подобрать параметры RC-цепей для всех линий. На рис. 2.55 приведена другая схема ретранслятора, лишенная этого недостатка, однако более аппаратуремкая. Оба рассмотренных ретранслятора являются пассивными относительно КОП и могут быть применены для повторителей, в основном увеличивающих не протяженность магистрали, а число подключаемых модулей. Основное достоинство повторителей КОП на основе пассивных ретрансляторов — прозрачность по отношению к АИС. Ни ЭВМ, ни модули системы «не знают» о том, что они работают через повторитель, а не через физические связанные линии сигналов магистрали интерфейса. Практическая реализация таких ретрансляторов совместно с ЛС связана со значительными техническими трудностями. Поэтому основная задача — увеличение протяженности магистрали КОП — более просто решается при использовании активных ретрансляторов.

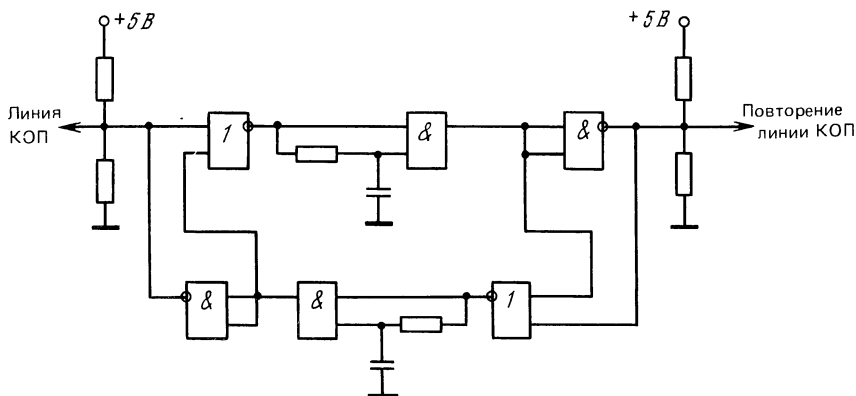


Рис. 2.54. Схема простейшего ретранслятора

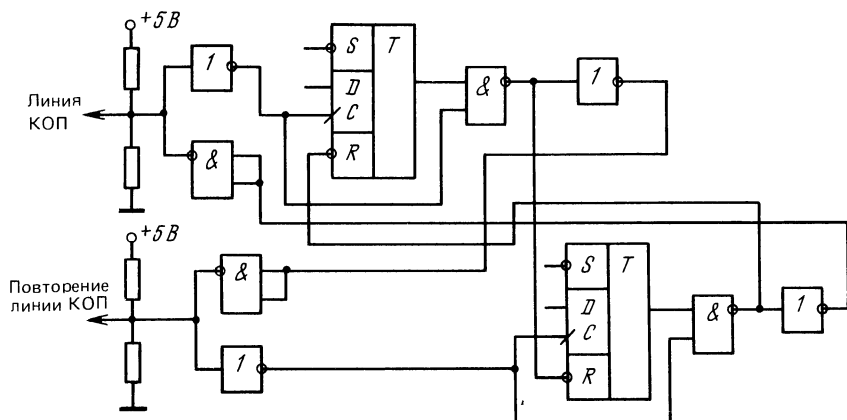


Рис. 2.55. Схема ретранслятора двунаправленной линии

Суть работы активного ретранслятора основана на возможности квантования моментов переключения направлений передачи по линиям КОП. Например, если слева (см. рис. 2.53) находится источник, а справа — приемник, то линии ЛД7 — ЛД0, КП и СД должны быть открыты на передачу слева направо, а линии ДП и ГП — наоборот. В активном ретрансляторе каждая линия КОП разделяется на две однонаправленные со схемами блокировки передачи сигнала (рис. 2.56). Сигналы на блокировку поступают от схемы управления, которая работает в соответствии со следующими правилами.

1. После включения питания все ретрансляторы (рис. 2.57) переходят в режим блокировки передачи по всем линиям КОП (прием остается разрешенным).

2. На первом шаге работы АИС, а им является выдача низкого ОИ (см. § 2.3), ретрансляторы разделяются на ведомые и ведущие. В первых в течение всей работы блокируется передача по линиям ОИ и ДУ, а открыт только прием, во вторых — наоборот. К остальным линиям КОП признак ведущего или ведомого ретранслятора не относится. Установка данного признака выполняется специальной логической схемой внутри каждого ретранслятора. Если сигнал ОИ поступает от ЛС, то этот ретранслятор становится ведомым. Если низкий ОИ поступает от канала КОП, то ретранслятор становится ведущим. Пусть на рис. 2.57 ведущей является ЭВМ 4. Тогда после прохождения ОИ по всей АИС ретрансляторы 6, 4 и 1 станут ведущими, а ретрансляторы 5, 3 и 2 — ведомыми. Изменение признака ведущего и ведомого в течение всей дальнейшей работы АИС невозможно, так как невозможно аналогичное переназначение ЭВМ (см. § 2.3).

3. Разделение на активные и пассивные производится также внутренними логическими схемами ретрансляторов и зависит от направления распространения низкого УП. Если УП поступает от ЛС, ретранслятор становится пассивным, если от канала КОП — активным. После снятия низкого УП признак активности или пассивности не изменяется до тех пор, пока не появится новое низкое УП. Пусть ЭВМ 1 является активным (действующим) контроллером АИС. Тогда переходом в СКАК она настроит ретрансляторы 1, 3 и 5 в режим активных ретрансляторов, а 2, 4 и 6 — пассивных. Допустим, УП будет переведено в высокое и снова в низкое. Признак активности во всех ретрансляторах сохраняется. Если же до высокого УП была выполнена передача управления, например к ЭВМ 3, то очередной низкий УП изменяет рассматриваемый признак в ретрансляторах: 5, 4 и 1 станут активными, а 2, 3 и 6 — пассивными. В активных ретрансляторах при низком УП блокируется передача по линиям ЗО, ГП и ДП, а прием по ним разрешен. По линиям УП, СД, КП, ЛД7 — ЛД0 — наоборот. В пассивных ретрансляторах разрешен и прием, и передача по линиям ЛД7 — ЛД0, КП, СД, СГ и ДП, по УП разрешен прием

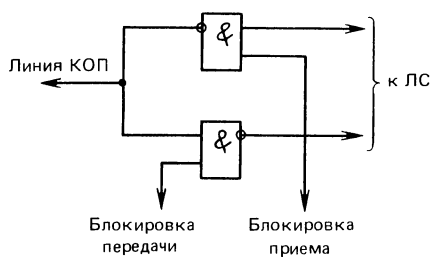


Рис. 2.56. Схема управления приемом и передачей в активном ретрансляторе

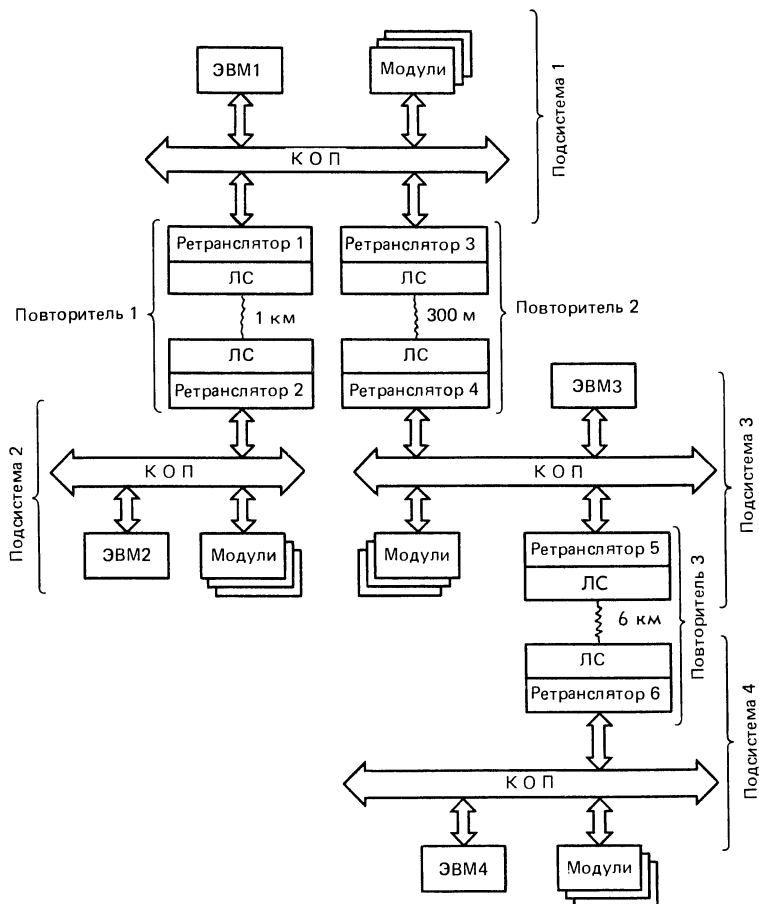


Рис. 2.57. Пример АИС с использованием повторителей КОП



и запрещена передача, а по 30 — разрешена передача и запрещен прием. Признак активности или пассивности не распространяется на линии ДУ и ОИ.

4. После снятия низкого УП пассивные ретрансляторы не изменяют состояния сигналов блокировки. Активные же могут изменить его, если по КОП была передана команда ЗАП для них. В этом случае в активных ретрансляторах выполняется блокировка передачи по линиям ЛД7 — ЛД0, КП и СД, а прием в них разрешается, в линиях ГП и ДП — наоборот. Управление направлением передачи по линиям УП и 30 не изменяется. Такой переход обеспечивает возможность приема данных от модулей в действующую ЭВМ и подразумевает предварительное конфигурирование ретрансляторов. Аналогично, например, действующая ЭВМ 1 может организовать обмен данными между ЭВМ 2 и 3. Для этого необходимо передать ЗАП для ретранслятора 3 и после адресации ЭВМ 3 источником и ЭВМ 2 приемником выставить высокий УП. Восстановление обычного режима в ретрансляторах выполняется с помощью команд СБА или СБУ.

5. Если в АИС выполняется параллельный опрос (УП и КП одновременно в низком), то состояния активных ретрансляторов также изменяются: в ЛД7 — ЛД0 блокируется передача и разрешается прием, а в остальных — КП, 30, УП, СД, ГП и ДП — не изменяется.

Кроме реализации рассмотренного алгоритма работы в каждом ретрансляторе повторителя КОП в них предусматриваются дополнительные схемы управления функцией СП1, а также отработка реакций на низкое ОИ, высокое ДУ и параллельный опрос ( $T_8$ ,  $T_9$ ). Это связано с задержками, вносимыми ЛС при передаче сигналов на расстояние. Наиболее важной среди них является схема управления функцией СП1, которая выполняет переход из СПХС в СПНГ за время  $t_2 \leq 200$  нс, а следующий переход — из СПНГ в СПГТ — задерживает до прихода высокого ГП и низкого ДП от пассивного ретранслятора. В дальнейшем ретранслятор не оказывает влияния на работу функции СП1, так как интерфейс переходит в асинхронный режим обмена. Схемы отработки  $T_8$  и  $T_9$  могут отсутствовать в ретрансляторах, так как их реализация значительно проще выполняется программным способом. Использование повторителей КОП неизбежно приводит к снижению производительности АИС. Допустим, что быстроедействие схем управления равно бесконечности и единственной задержкой является время распространения сигнала в ЛС  $t_{л.с} = L/V$ , где  $L$  — длина ЛС;  $V$  — скорость распространения сигнала. Для определенности пусть  $L = 3$  км, а  $V = 3 \cdot 10^8$  м/с — верхний предел для оценки скорости, равный скорости света. Тогда  $t_{л.с} = 10$  мкс. В соответствии с алгоритмом обмена на прием-передачу одного байта необходимо затратить  $4t_{л.с} = 40$  мкс (10 мкс на ожидание высокого ГП, 10 мкс — высокого СД, 10 мкс — высокого ДП и 10 мкс — высокого СД). В этом случае скорость обмена уже на расстоянии 3 км не может превысить 25 кбайт/с. Фактически она еще в 2...4 раза меньше. Этот недостаток характерен для всех асинхронных интерфейсов. Поэтому применять протокол обмена КОП целесообразно в пределах до нескольких километров, т. е. на территории завода, испытательного центра и др. Глобальные сети АИС более эффективно создавать и на основе других систем интерфейсов с использованием модемов и аппаратуры передачи данных. Со стороны КОП для этого необходимо иметь только специальный адаптер, например модем (HP37201A, Hewlett-Packard, США).

В практических приложениях, когда нет необходимости построения сетей АИС, а существует потребность только в подключении к системе модулей, удаленных на расстояние до нескольких километров, можно применить упрощенную схему повторителя КОП [51]. В ней реализован один активный ретранслятор, который должен подключаться к каналу КОП со стороны ЭВМ. На другой стороне ЛС имеется только БОЭС. В таком повторителе отсутствуют функция СП1 и адрес, и он прозрачен для АИС. Направление приема и передачи в нем выбирается следующим образом:

УП, ДУ и ОИ — всегда разрешена передача и запрещен прием;

30 — всегда разрешен прием и запрещена передача;

ЛД7 — ЛД0, КП, СД — разрешена передача и запрещен прием, ГП и ДП — наоборот при низком УП, а также при высоком УП и если последней передаваемой по КОП командой была любая, кроме ГАП;

ЛД7—ЛД0, КП, СД—разрешен прием и запрещена передача, ГП и ДП—наоборот при высоком УП и если последней командой была любая из списка ГАИ;

ЛД7—ЛД0—разрешен прием и запрещена передача, ГП, ДП, СД, КП—наоборот, если УП и КП одновременно в высоком (параллельный опрос).

В качестве ЛС в таком повторителе КОП используются два устройства «Электроника МС4101» [51], каждое из которых обеспечивает преобразование 16 ТТЛ-уровней магистрали КОП в последовательность световых импульсов, передачу их по волоконно-оптическому кабелю на 300 м и обратное преобразование в 16 ТТЛ-уровней. Скорость преобразования равна 8 МБод  $\approx$  1 Мбайт/с. Единственной задержкой для КОП является  $t_{л.с.}$  Такой повторитель КОП прост в изготовлении, компактен (не более 2 кг) и удобен в эксплуатации.

**Увеличение числа модулей в составе АИС.** Стандартом на КОП определен предел для числа модулей, подключаемых к одной магистрали. Он равен 14 и обусловлен электрическими параметрами интерфейса. Для того чтобы увеличить число модулей в 2 раза, достаточно использовать схему повторителя КОП без ЛС на основе любого из приведенных на рис. 2.54 или 2.56 пассивных ретрансляторов. Дальнейшее увеличение числа модулей подобным способом невозможно, так как вступает в силу второе ограничение—объем адресного пространства, равный 31 (см. § 2.32). Однако, используя двухбайтовую адресацию, число абонентов в КОП можно довести до 992. Поэтому, если появляется необходимость создания АИС, содержащей более 31 модуля, совместно с повторителями КОП следует использовать расширители адресов или просто расширители КОП.

Суть работы расширителя сводится к следующему. Четырнадцать любых приборов, имеющих только однобайтовую адресацию, подключаются к расширителю справа (рис. 2.58), а слева с помощью другого разъема, физически и логически развязанного с правым, расширитель подключается к обычной магистрали КОП. Расширитель имеет свой первичный адрес, и до тех пор, пока он не адресован, передача команд ГАИ и ГАП в расширенную магистраль блокируется. После адресации расширителя поступающий вслед за первичным вторичный адрес в расширителе преобразуется в первичный. Этим достигается, во-первых, возможность увеличения числа модулей, подключаемых к КОП в пределе до 992, а во-вторых, не требуется каких-либо конструктивных изменений в модулях. С помощью расширителя они «наделяются» двухбайтовым адресом, хотя на самом деле работают по тому же алгоритму, как если бы находились слева от расширителя в основной магистрали КОП. По отношению к ЭВМ изменение заключается только в необходимости использования программного обеспечения, ориентированного на функции ИР и ПР вместо И и П, что обычно предусматривается априори, так как заложено в требованиях стандарта.

Алгоритм работы расширителя КОП представлен в табл. 2.12. Расширители КОП не могут подключаться последовательно, как повторители, иначе вместо двухбайтовой адресации необходимо выполнить трехбайтовую, что противоречит информационной совместимости интерфейса.

Увеличить число модулей в АИС можно не только с помощью расширителей, но и за счет организации в одной из ЭВМ нескольких независимых каналов

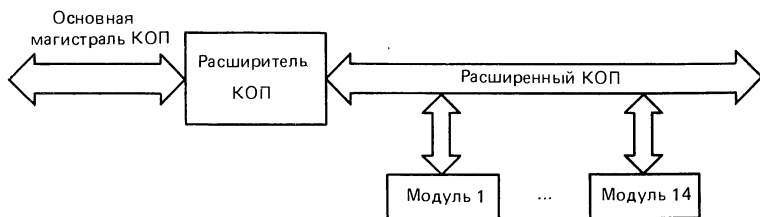


Рис. 2.58. Схема включения расширителя КОП

Таблица 2.12

## Алгоритм работы расширителя КОП

Команда до расширителя	Воздействие команды на внутренние схемы расширителя	Та же команда после расширителя	Дополнительное условие
ГАЗ	Переход в СППХ, СИПХ	ГАЗ	Всегда
ГУК	То же	ГУК	»
ГАП и не МАП	»	ПУС (ЛД7—ЛД0— в высокое)	»
НПМ	»	НПМ	»
МАП	Переход в СППА	ПУС	»
ДАИ	Переход в СППХ, СИПХ	НПД	»
МАИ	Переход в СИПА	НПД	»
ГВК	Не воздействует	ГВК	Если СППХ и СИПХ
		ГАП	Если СППА
		ГАИ	Если СИПА

КОП (несколько адаптеров). Такой путь не всегда доступен для пользователя, особенно если в комплекте ЗИП нет второго, третьего и т. д. адаптеров КОП. Кроме того, нарушается однородность интерфейса в АИС. Управлять рядом модулей по КОП становится возможно только от одной из всех ЭВМ, к адаптеру которой эти модули подключены. Поэтому расширители КОП—такие же полноправные модули АИС, как и измерительные приборы, коммутаторы, ЭВМ, повторители ИКАР и т. д., тем более, что их схема предельно проста и доступна для изготовления даже в лабораторных условиях.

## 2.5. Диагностика интерфейса КОП

Первым практическим шагом в изучении интерфейса КОП является работа с модулями АИС и ЭВМ с помощью тестера КОП. Он предназначен для ручного независимого управления состояниями любой из 16 линий КОП с помощью соответствующего переключателя, а также индикации состояния всех 16 линий, например на 16 светодиодах (рис. 2.59).

Тестер КОП—незаменимое средство не только при изучении интерфейса, но и при отладке АИС, локализации отказов и ремонте, разработке управляющих программ и настройке аппаратуры. С помощью тестера наиболее просто отрабатывать большинство операций, необходимых для быстрой апробации функционирования модуля в КОП (см. 2.3.2). Только тестер позволяет реализовы-

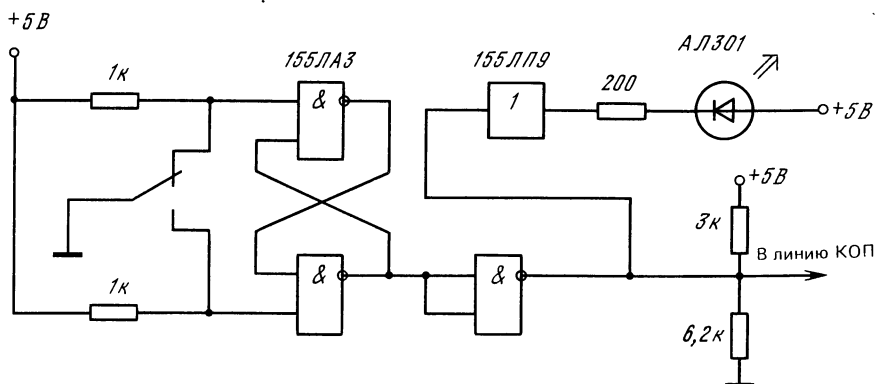


Рис. 2.59. Схема одного канала тестера КОП

вать сбойные режимы работы интерфейса, замедлять работу АИС до такой скорости, при которой наладчик способен проанализировать каждый шаг прохождения команд и данных, оперативно исправлять ошибку в управляющей программе и продолжать ее исполнение без компиляции и сборки заново.

Работа с тестером КОП начинается со стыковки тестера и испытуемого модуля обычным стандартным кабелем КОП. Если все индикаторы не работают (а это соответствует высокому уровню во всех линиях), диагностику можно продолжать. В противном случае необходимо выявить и устранить причину, из-за которой та или иная линия КОП в модуле поддерживается в низком. Далее можно проверить реакцию на низкое УП и работу функции СП1 в режиме приема команд, нажав переключатель УП. Светодиод УП после нажатия должен подсвечиваться, подтверждая нажатие переключателя. В ответ на низкое УП модуль должен выставить высокое ГП и низкое ДП. Убедиться в этом помогают соответствующие индикаторы: ДП должен работать, ГП — нет. Затем оператор нажимает переключатель СД. Индикатор СД при этом подсвечивается. Реакция модуля в ответ на низкое СД — состояние СПОЦ: индикатор ГП работает, индикатор ДП — нет. Далее оператор отжимает СД и проверяет переход модуля в СПГТ опять же по состоянию индикаторов ГП и ДП.

Рассмотрим пример проверки перехода функции П в модуле в состоянии СПАК. Для этого нажимаем УП и выставляем на ЛД7 — ЛД0 код МАП. Далее нажимаем и отжимаем СД. Во время всех переключений правильность работы функции СП1 контролируется по индикаторам ГП и ДП. Завершающим шагом данной проверки является отжатие УП. При этом, если модуль адресовался, он остается в СПГТ или СПНГ под управлением СПАК, т. е. подсвечиваются оба индикатора ГП и ДП либо только ДП.

Еще один пример: проверка выдачи модулем результатов функционирования. Нажимаем УП и выставляем на ШД код МАИ. Переключаем СД в низкое и опять в высокое. Подготавливаем тестер к приему, отжимая все тумблеры на ШД и нажимая ГП и ДП, после чего отжимаем УП. В результате модуль начинает передачу, а тестер находится в состоянии «не готов». Проверяем, перешел ли модуль в состояние СИЗД. Для этого достаточно по индикаторам ЛД7 — ЛД0 убедиться в том, что модуль выставил первый байт данных. Затем отжимаем ГП. Модуль должен перейти в СИПД, что определяется по зажиганию индикатора СД и отсутствию каких-либо изменений на ШД. Следующий шаг: нажимаем ГП (переводим тестер в СПРМ) и затем отжимаем ДП (переводим его в СПОЦ). Модуль должен ответить состоянием СИОЦ, т. е. потушить индикатор СД и т. д.

Кроме простейших тестеров для диагностики КОП существуют более сложные приборы — специализированные анализаторы КОП 814, Ц4-1, НР59401А и ряд

других. В анализаторах функции тестера дополнены сервисными функциями, облегчающими проведение диагностики интерфейса (режимы измерения временных и операционных характеристик, полуавтоматического ввода и вывода команд и данных, предварительно записанных в оперативную память, отображения временных диаграмм работы интерфейса и т. д.). Анализаторы КОП, так же как и тестеры, предназначены в основном для локализации отказов, но не для их обнаружения. Последнее требует провести анализ тысяч состояний, которые могут принимать интерфейсные функции и модули.

Требуемая полнота диагностирования КОП за приемлемое время может быть достигнута только в условиях использования автоматизированных систем на основе ЭВМ. Они работают по принципу тестера, но линии интерфейса управляются не вручную, а через специально организованные порты ввода-вывода по аналогии с любыми другими периферийными устройствами ЭВМ. Алгоритм диагностирования реализуется управляющей программой. Если управляющая программа универсальна и может быть применима для проверки интерфейса в любом модуле, то она используется на приемочных испытаниях опытных образцов и включает элементы экспертных систем, например автоматизированная система проверки КОП ETLL. Назначение таких систем — однократная проверка конструктивных решений интерфейса КОП, закладываемых в модуль АИС на этапе разработки. Если управляющая программа разработана для прибора конкретного типа, то она предназначена для выходного выборочного или сплошного контроля, оптимизирована по времени и выполняет диагностирование значительно быстрее, чем универсальная.

Таким образом, диагностика интерфейса КОП включает в себя четыре уровня и соответствующие им технические средства (табл. 2.13).

Таблица 2.13

**Уровни диагностирования КОП**

Уровень	Назначение	Применяемые технические средства
1	Испытания опытного образца	Универсальная автоматизированная система диагностики КОП
2	Выходной контроль	Специальные автоматизированные системы проверки КОП
3	Локализация отказов, ремонт	Анализаторы, тестеры
4	Изучение интерфейса	Тестер

## Глава 3

# Приборы-модули универсальных АИС

## 3.1. Номенклатура и технические характеристики агрегируемых средств измерений

Основу приборно-модульных АИС составляют средства измерений (СИ), поддерживающие приборный интерфейс по ГОСТ 26.003—80. В настоящее время отечественная промышленность выпускает более 300 типов таких приборов, которые называются системными. Системные приборы, являющиеся конструктивно и функционально законченными СИ, могут применяться в качестве как составной части АИС, так и автономных приборов. Перечень и основные технические характеристики системных приборов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

## Основные технические характеристики СИ, имеющих выход на КОП

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
В1-18 Прибор для проверки вольтметров и калибраторов	Напряжение постоянного тока [воспроизводится]	$\pm (0,1 \text{ мкВ} \dots 1000 \text{ В})$  $[\pm (0,01 \text{ мкВ} \dots 1000 \text{ В})]$	$\pm \{(0,0015 \dots 0,003)\% \text{ от } U_x + 0,00012\% \text{ от } U_n\}$ , где $U_n$ — конечное значение предела измерений $[\pm \{(0,0015 \dots 0,0035)\% \text{ от } U_x + (0,00012 \dots 0,002)\% \text{ от } U_n\}]$ $\pm \{(0,001 \dots 0,003)\% \text{ от } U_x + 0,00006\% \text{ от } U_n\}$ $[\pm (0,001 \dots 0,003)\% \text{ от } U_x + 0,00006 \dots 0,00015\% \text{ от } U_n]$ $\pm \{(2 \dots 20) \cdot 10^{-6} U_x + 0,8 \cdot 10^{-6} U_n\}$	
В1-18А				
В1-18/1	Напряжение постоянного тока	$\pm (0,1 \text{ мкВ} \dots 1000 \text{ В})$		СИ1, И1, СП1, ПЗ, ЗА, ДМ2, СБ1, ЗП1
В1-18А/1	[воспроизводится]	$[\pm (1 \text{ мкВ} \dots 11,999999 \text{ В})]$	$[\pm \{(2 \dots 6) \cdot 10^{-6} U_x + 1,0 \cdot 10^{-6} U_n\}]$ $\pm \{(2 \dots 14) \cdot 10^{-6} U_x + 0,5 \cdot 10^{-6} U_n\}]$ $[\pm \{(2 \dots 5) \cdot 10^{-6} U_x + 0,7 \cdot 10^{-6} U_n\}]$	СИ1, И1, СП1, ПЗ, ДМ2, СБ1, ЗП1
В1-27 Установка для проверки вольтметров	[Воспроизводится напряжение переменного тока синусоидальной формы]	$[100 \text{ мкВ} \dots 1099,99 \text{ В}]$ среднеквадратического значения в диапазоне 20 Гц...100 кГц	$[\pm (0,02 \dots 1) + (0,002 \dots 1)(U_x/U_n - 1)]\%$	СИ1, СП1, И5, П4 З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
В1-28 Калибратор-вольтметр	Напряжение постоянного тока	$\pm (1 \text{ мкВ} \dots 1000 \text{ В})$	$\pm \{(0,003 \dots 0,004)\% \text{ от } U_x + (0,0003 \dots 0,0015)\% \text{ от } U_n\}$	СИ1, СП1, И1,

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
универсальный	Приращение напряжения постоянного тока Напряжение переменного тока синусоидальной формы	$\pm(1 \text{ мкВ}...1000 \text{ В})$ 10 мкВ...700 В среднеквадратического значения в диапазоне 40 Гц...120 кГц $\pm(0,1 \text{ нА}...2 \text{ А})$	$\pm\{(0,002...0,003)\% \text{ от } U_{\Delta} + (0,0002...0,0005)\% \text{ от } U_{\text{н}}\}$ $\pm\{(0,03...0,4)\% \text{ от } U_{\bar{x}} + (0,005...0,03)\% \text{ от } U_{\text{н}}\}$	ПЗ, ЗП, ДМ2, СБ1, ЗП1
	Сила постоянного тока (измерение и воспроизведение) Сила переменного тока синусоидальной формы (измерение и воспроизведение)	1 нА...2 А среднеквадратического значения в диапазоне 40 Гц...5 кГц 10 мкОм...10 МОм	$\pm\{(0,01...0,03)\% \text{ от } I_{\bar{x}} + (0,0015...0,002)\% \text{ от } I_{\text{н}}\}$ $\pm(0,25\% \text{ от } I_{\bar{x}} + 0,25\% \text{ от } I_{\text{н}})$	
	Сопротивление постоянному току [напряжение постоянного тока] [напряжение переменного тока синусоидальной формы]	$[\pm(0,1 \text{ мкВ}...1000 \text{ В})]$ [10 мкВ...700 В] среднеквадратического значения в диапазоне 0,1 Гц...120 кГц (дискретный ряд) [1 Ом...10 МОм] в декадных точках	$\pm\{(0,01...1)\% \text{ от } R_{\bar{x}} + (0,003...0,1)\% \text{ от } R_{\text{н}}\}$ $[\pm\{(0,003...0,004)\% \text{ от } U_{\bar{x}} + (0,0003...0,002)\% \text{ от } U_{\text{н}}\}]$ $[\pm\{(0,03...0,2)\% \text{ от } U_{\bar{x}} + (0,005...0,2)\% \text{ от } U_{\text{н}}\}]$ $[\pm(0,005...0,05)\%]$	
В1-29 Калибратор переменного напряжения	[Напряжение переменного тока синусоидальной формы]	$[3 \text{ мкВ}...3 \text{ В}]$ среднеквадратического значения в диапазоне 10 Гц...100 МГц	$[\pm\{(0,06...0,5) + (0,006...0,1) U_{\text{н}}/U_{\bar{x}}\}\%]$	СИ1, СП1, И1, ПЗ, ЗП, ДМ2, СБ1, ЗП1

В2-38 Нановольтметр цифровой постоянного тока	Напряжение постоянного тока	$\pm (1 \text{ нВ} \dots 1,9999 \text{ В})$	$\pm \{ (0,05 \dots 0,1) + (0,025 \dots 0,05) + (U_{\text{н}}/U_x - 1) \} \%$	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
ВКЗ-61, 61А	Напряжение постоянного тока	$\pm (10 \text{ мкВ} \dots 1000 \text{ В})$	$\pm \{ (0,4 \dots 0,8) + (0,2 \dots 0,6) + (U_{\text{н}}/U_x - 1) \} \% \rightarrow \delta =$	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1, ЗП1
Вольтметр цифровой широкополосный	Напряжение переменного тока произвольной формы  Сумма напряжений постоянного и переменного тока	10 мкВ...1000 В до 60 дБ (отн. 1 В) среднеквадратическое значение в диапазоне 10 Гц...100 МГц (ВКЗ-61 А до 50 МГц) До 1000 В среднеквадратическое значение в диапазоне 2 Гц...100 МГц	$\pm \{ [ (0,4 \dots 1,0) + (0,2 \dots 0,4) \times (U_{\text{н}}/U_x - 1) \% \rightarrow \delta \sim$ $\pm \{ 0,1 \delta \sim \% + 0,15 \} \text{ дБ}$ $\pm \left\{ \left( \frac{\delta = U_x^2 + \delta \sim U_x^2}{U_x^2 + U_x^2} \right) + 0,2 \right\} \% \}$ 10 Гц...100 МГц $\rightarrow \delta \sim$ $\pm \left\{ 2 + \left( \frac{U_{\text{н}}}{U_x} - 1 \right) \right\} \% \text{ в диапазоне 2} \dots 10 \text{ Гц}$ $\pm \{ 0,1 \delta \sim \% + 0,2 \} \text{ дБ}$	
ВЗ-63	Переменное напряжение синусоидальной формы	0,01...100 В (-27...+53 дБ отн. 0,2236 В) в диапазоне	$\pm \{ 0,2 + (0,001 \dots 0,008) \times (U_{\text{н}}/U_x - 1) \} \% \text{ в диапазоне 20 Гц} \dots 100 \text{ МГц}$	СИ1, СП1, И1 ПЗ, З1,



Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
Вольтметр переменного тока		10 Гц...1500 МГц	$\pm \{(0,2...0,5) + (0,001...0,008) \times (U_w/U_x - 1) + 0,08 f_x / f_w\} \%$ в остальных диапазонах; $f_w = 10$ МГц, $f_x$ — частота измеряемого напряжения, МГц	ДМ1, СБ1, ЗП1
В4-24 Вольтметр импульсного напряжения	Переменное напряжение импульсной формы	$\pm (1 \text{ мВ}...1000 \text{ В})$ мгновенные и амплитудные значения однократных и повторяющихся импульсов длительностью 0,5 нс...9,99 с	$\pm \{(0,5...2) + (0,2...0,3) \times (U_w/U_x - 1)\} \%$ от $U_x\}$ при измерении мгновенных значений в диапазоне 0...100 кГц $\pm \{(3...10) + (0,1...0,5) \times (U_w/U_x - 1)\} \%$ при измерениях амплитуды с $\tau_p \geq 0,1 \text{ мкс}$ $\pm \{(0,5...30) + (0,2...1) \times (U_w/U_x - 1)\} \%$ от $U_x\}$	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1
	Переменное напряжение произвольной формы (в том числе повторяющееся радиои импульсное)	$\pm (1 \text{ мВ}...1000 \text{ В})$ мгновенное, амплитудное, среднеквадратичное и среднее выпрямленное значение в диапазоне до 700 МГц $\pm (1 \text{ мВ}...1000 \text{ В})$		
	Постоянное напряжение		$\pm (0,3...2) \%$	
В6-14 Микровольтметр селективный	Переменное напряжение синусоидальной формы	0...129,5 дБ (1 мВ...3 В) среднеквадратическое значение в диапазоне 15 Гц...200 кГц	$\pm (0,5...1,2) \text{ дБ}$	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
В6-15	Переменное напряжение	-20...+120 дБ	$\pm (0,8...2,5) \text{ дБ}$	СИ1,

Микровольтметр селективный	синусоидальной формы	(0,1 мкВ...1 В) среднеквадратическое значение в диапазоне 0,01...30 МГц	при полосе пропускания 1,7 кГц $\pm(0,8...1,9)$ дБ при полосе пропускания 8 кГц	СП1, И5, П4, З1, ДМ2
В7-39 Вольтметр универсальный цифровой	Постоянное напряжение	$\pm(1 \text{ мкВ}...1000 \text{ В})$ $\pm(1 \text{ мкВ}...500 \text{ В по 2-му входу})$	$\pm\{0,002+(0,001...0,006) \times (U_m/U_x-1)\}\%$	И5, СИ1, СП1, П4, З1, ДМ1, ОП1, СБ1, ЗП1
	Переменное напряжение произвольной формы	10 мВ...750 В (10 мВ...300 В по 2-му входу) среднеквадратическое значение в диапазоне 20 Гц...1 МГц	$\pm\{0,15...10+(0,06...2) \times (U_m/U_x-1)\}\%$	
	Сумма постоянного и переменного напряжений	10 мВ...750 В (10 мВ...300 В по 2-му входу)	$\pm\{\delta_{\sim}+[(0,06...0,15)+(0,02...0,04) \times (U_m/U_x-1)]\}\%$ $\delta_{\sim}$ — погрешность измерения переменного напряжения	
	Сопротивление постоянному току	0,1 МОм...100 МОм	$\pm\{0,006...0,1+(0,001...0,006) \times (R_x/R_{\sim}-1)\}\%$	
В7-40/1 Вольтметр универсальный цифровой	Постоянное напряжение	$\pm(0,01 \text{ мВ}...1000 \text{ В})$	$\pm\{0,05...0,1+0,02 \times (U_m/U_x-1)\}\%$	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ2, СБ1, ЗП1
	Переменное напряжение произвольной формы	До 30 кВ с делителем 2 мВ...500 В среднеквадратическое значение в диапазоне 20 Гц...100 кГц До 1000 В с делителем в диапазоне 20 Гц...1 кГц 0,1...15 В — с пробником ВЧ, среднеквадратическое значение в диапазоне 50 кГц...1000 МГц $\pm(0,01 \text{ мкА}...2 \text{ А})$ До 10 А с шунтом	$\pm\{0,4+0,04(U_m/U_x-1)\}$ $\pm\{0,6...10+(0,1...0,4) \times (U_m/U_x-1)\}\%$ $\pm\{(0,6...1)+0,1(U_m/U_x-1)\}\%$ $\pm\{(10...30)+(2...3)(U_m/U_x-1)\}\%$	
	Сила постоянного тока		$\pm\{0,2+0,02(I_m/I_x-1)\}\%$ $\pm\{0,4+0,02(I_m/I_x-1)\}\%$	

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	Сила переменного тока произвольной формы	2 мкА...2 А среднеквадратическое значение в диапазоне частот 40 Гц...20 кГц	$\pm \{(1...2) + 0,1(I_m/I_x - 1)\} \%$	
	Сопроотивление постоянному току	До 10 А с шунтом в диапазоне 40 Гц...2 кГц 0,01 Ом...20 МОм	$\pm \{1 + 0,1(I_m/I_x - 1)\} \%$ $\pm \{(0,15...0,5) + (0,05...1) \times (R_m/R_x - 1)\} \%$	
В7-43 Вольтметр универсальный цифровой быстродействующий	Постоянное напряжение Переменное периодическое напряжение произвольной формы	$\pm (10 \text{ мВ}...1000 \text{ В})$ , быстрое действие 5000 изм/с 1 мВ...1000 В среднеквадратическое значение в диапазоне 0,01...20 Гц	$\pm \{(0,1...0,15) + (0,04...0,06) \times (U_m/U_x - 1)\} \%$ $\pm \{0,5 + (0,1...0,2) \times (U/U_x - 1)\} \%$	СИ1, П4, СП1, ИС5, ДМ1, СБ1, ЗП1
В7-45 Вольтметр универсальный электрометрический	Напряжение постоянного тока Сила постоянного тока Количество электричества	$\pm (2 \cdot 10^{-5}...100) \text{ В}$ $\pm (10^{-17}...10^{-7}) \text{ А}$ $5 \cdot 10^{-16}...10^{-6} \text{ Кл}$	$\pm 0,05 \%$ $\pm (0,25...10) \%$ $\pm (0,25...0,5) \%$	
В7-46 Вольтметр универсальный	Постоянное напряжение Переменное напряжение произвольной формы	$\pm (100 \text{ нВ}...1000 \text{ В})$ 100 мВ...700 В среднеквадратическое значение в диапазоне 20 Гц...1 МГц	$\pm \{(0,02...0,25) + (0,002...0,1) (U_m/U_x - 1)\} \%$ за 6 месяцев $\pm \{(0,15...5) + (0,06...1) (U/U_x - 1)\} \%$ за 6 месяцев	СИ1, СП1, ИС5, П4 З1, ДМ1, СБ1, ЗП1

Е7-14, Е7-14/1 Измеритель параметров комплексный	Сила постоянного тока	$\pm(100 \text{ пА} \dots 2 \text{ А})$	$\pm\{(0,1 \dots 0,15) + (0,005 \dots 0,1) \cdot (I_n/I_x - 1)\} \% \text{ за } 12 \text{ месяцев}$ $\pm\{0,4 + 0,01(I_n/I_x - 1)\} \%$ $\pm\{(0,6 \dots 2) + 0,15(I_n/I_x - 1)\} \%$ $\pm\{1 + 0,1(I_n/I_x - 1)\} \%$ $\pm\{(0,025 \dots 0,15) + (0,0025 \dots 0,1) \cdot (R_n/R_x - 1)\} \% \text{ за } 12 \text{ месяцев}$ $\pm\{\delta_x + \delta_y + 0,002 S_n/S_x\} \% \text{, } \delta_x \text{ — погрешность по входу } x; \delta_y \text{ — погрешность по входу } y$ $\pm\{\delta_x + \delta_y + 0,002 S_n/S_x\} \%$	СИ1, И5 П4, З1, ДМ1, СБ1,ЗП1
	Сила переменного тока произвольной формы	До 10 А с шунтом 0,1 мкА...2 А, среднее значение в диапазоне 40 Гц...20 кГц		
	Сопротивление постоянному току	До 10 А с шунтом 10 мОм...20 МОм (по двух- и четырехпроводной схеме)		
	Отношение двух постоянных напряжений	Вход х: 1 мкВ...1000 В; вход у: 0,1...10 В		
	Отношение среднеквадратического значения переменного напряжения к произвольной формы к постоянному напряжению	Вход х: 10 мВ...700 В в диапазоне 20 Гц...1 МГц вход у: 0,1...10 В, постоянное напряжение		
	Параллельная и последовательная индуктивность	0,001 мкГн...16 кГн	$\pm\left\{10^{-3}(1+D) + (2 \dots 3) \cdot 10^{-3} \frac{L_x}{L_k}\right\} \times L_x$ более 1,6 мГн $\pm\{(10^{-3}(1+D) L_x + (2 \dots 3) \cdot 10^{-4} L_k)\}$ менее 1,6 мГн $\pm\{10^{-3}(1+D) C_x + (2 \dots 3) \cdot 10^{-4} C_k\}$ менее 16 мкФ $\pm\{[10^{-3}(1+D) + (2 \dots 3) \cdot 10^{-3} C_x / C_k] C_x\}$ более 16 мкФ $\pm\{[10^{-3}(1+Q) + (2 \dots 3) \cdot 10^{-3} \times R_x/R_k] R_x\}$ более 100 Ом $\pm\{10^{-3}(1+Q) R_x + (2 \dots 3) \cdot 10^{-4} R_k\}$ менее 100 Ом $\pm\{10^{-3}(1+Q) G_x + (2 \dots 3) \cdot 10^{-4} G_k\}$ менее 10 мСм	
	Параллельная и последовательная емкость	0,1 пФ...1 Ф		
	Параллельное и последовательное сопротивление	1 мОм...1000 МОм		
	Параллельная проводимость	0,1 нСм...10 См		

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [вспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [вспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	Фактор потерь Добротность	$10^{-4} \dots 10^4$ $10 \dots 10^{-4}$	$\pm \{ [10^{-3} (1+Q) + (2 \dots 3) \cdot 10^{-3} \times \times G_x/G_x] G_x \}$ более 10 мСм $\pm \{ 10^{-3} (1+D_x^2) + (2 \cdot 10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-3}) \times \times (1+D_x) C_x/C_x \}$ $\pm \{ 10^{-3} (1+Q_x^2) + (2 \cdot 10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-3}) \times \times (1+Q_x) Q_x L/L_x \}$	
М1-25, М1-25/1, М1-25/2 Прибор для поверки ваттметров	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-4} \dots 10^{-2}$ Вт в диапазонах: 37,5...78,33 ГГц (М1-25) 37,5...53,6 ГГц (М1-25/1) 53,6...78,33 ГГц (М1-25/2)	$\pm 2\%$	П, И, СП, СИ, СБ, ЗП
МКЗ-68 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний Импульсная мощность Энергия импульса Длительность импульса Частота повторения импульсов	$10 \dots 6000$ Вт в диапазоне 0,001...1,6 ГГц  1...140 кВт 100...6000 мДж 4...200 мкс 50...5000 Гц	$\pm \{ 5+0,1 (P_x/P_x-1) \}$ % в диапазоне 10...100 Вт; $\pm \{ 4+0,1 (P_x/P_x-1) \}$ % в диапазоне 100...6000 Вт, $P_x$ — конечное значение соответствующего диапазона измерения; $P_x$ — показания ваттметра $\pm (6 \dots 20)$ % Не более $\pm 6\%$ Не более $\pm 15\%$ $\pm 1\%$	И, СИ, ДМ
МКЗ-69 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10 \dots 6 \cdot 10^3$ Вт в диапазоне не 0,001...3 ГГц	$\pm \{ 5+0,1 (P_x/P_x-1) \}$ % в диапазоне 10...100 Вт, $\pm \{ 4+0,1 (P_x/P_x-1) \}$ % в диапазоне 100...6000 Вт	И, СИ, ДМ

	Импульсная мощность Энергия импульса Длительность импульса Частота повторения импульсов	1...140 кВт 100...6000 мДж 4...200 мкс 50...5000 Гц	$\pm(6...20)\%$ Не более 6% Не более 15% $\pm 1\%$	
МКЗ-70 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний  Импульсная мощность Энергия импульса Длительность импульса Частота повторения импульсов	10...6000 Вт в диапазоне 2,59...5,64 ГГц  1...1000 Вт 100...10000 мДж 4...200 мкс 50...5000 Гц	$\pm\{5+0,1(P_k/P_x-1)\}\%$ в диапазоне 10...100 Вт; $\pm\{4+0,1(P_k/P_x-1)\}\%$ в диапазоне 100...6000 Вт $\pm(6...20)\%$ Не более $\pm 6\%$ Не более $\pm 15\%$ $\pm 1\%$	И, СИ, ДМ
МКЗ-71 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний  Импульсная мощность Энергия импульса Длительность импульса Частота повторения импульсов	10...1000 Вт в диапазоне частот 5,64...37,5 ГГц  1...1000 Вт 100...10000 мДж 4...200 мкс 50...5000 Гц	$\pm\{5+0,1(P_k/P_x-1)\}\%$ в диапазоне 10...100 Вт; $\pm\{4+0,1(P_k/P_x-1)\}\%$ в диапазоне 100...1000 Вт $\pm(6...20)\%$ Не более $\pm 6\%$ Не более $\pm 15\%$ $\pm 1\%$	И, СИ, ДМ
МЗ-75, МЗ-75/1—МЗ-75/6 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$3 \cdot 10^{-7} \dots 10^{-2}$ Вт в диапазоне 37,5...178,4 ГГц (МЗ-75) 37,5...78,33 ГГц (МЗ-75/1) 78,33...178,4 ГГц (МЗ-75/2) 37,5...53,6 ГГц (МЗ-75/3) 53,6...78,33 ГГц (МЗ-75/4)	$\pm 6\%$ в диапазоне 37,5...78,33 ГГц при уровнях мощности $10^{-5} \dots 10^{-2}$ Вт  $\pm 10\%$ в диапазоне 78,33...178,4 ГГц при мощности $10^{-5} \dots 10^{-2}$ Вт	СИ, СП1, И1, П4 З1, ДМ1, СБ1, ЗП1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
РМ3-82 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	78,33...118,1 ГГц (М3-75/5) 118,1...178,4 ГГц (М3-75/6)	$\pm\{15+0,25 (P_x/P_x-1)\}$ % в диапазоне 37,5...178,4 ГГц при мощности $10^{-6}...10^{-5}$ Вт $\pm\{25+0,4 (P_x/P_x-1)\}$ % в диапазоне 37,5...178,4 ГГц при мощности $3 \cdot 10^{-7}...10^{-6}$ Вт	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
М3-90 — М3-92 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-7}...10^{-2}$ Вт в диапазоне 0,02...17,85 ГГц 17,44...25,86 (М3-91) 25,86...37,5 (М3-92)	$\pm\{4+0,1 (P_x/P_x-1)\}$ % в диапазоне 0,02...12 ГГц; $\pm\{6+0,1 (P_x/P_x-1)\}$ % в диапазоне выше 12 ГГц	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, ЗП1, СБ1
РМ3-83 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-7}...10^{-2}$ Вт в диапазоне 17,44...25,86 ГГц	$\pm\{6+0,1 (P_x/P_x-1)\}$ %	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1

PM3-84 Ваттметр мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-7} \dots 10^{-2}$ Вт в диапазоне частот 25,86...37,5 ГГц	$\pm \{6+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ %	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
PM3-85/1 Ваттметр мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-4} \dots 1$ Вт в диапазоне 0...3 ГГц	$\pm \{6+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ %	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
PM3-85 Ваттметр мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-4} \dots 1$ Вт в диапазоне 0...17,85 ГГц	$\pm \{4+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ не 0...12 ГГц; $\pm \{6+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ не выше 12 ГГц	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
PM3-86 Ваттметр мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-4} \dots 1$ Вт в диапазоне 17,44...78,33 ГГц	$\pm \{6+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ %	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
PM3-87 Ваттметр мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-2} \dots 10$ Вт в диапазоне 0...17,85 ГГц	$\pm \{4+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ не 0...12 ГГц; $\pm \{6+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ не выше 12 ГГц	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
PM3-88	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-1} \dots 10^2$ Вт в диапазоне	$\pm \{6+0,1 (P_4/P_x - 1)\}$ %	СИ1,



Продолжение табл. 3.1

1 Тип и наименование прибора	2 Измеряемая (воспроизводимая величина)	3 Диапазон измерения [воспроизведения]	4 Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	5 Интерфейсные функции
Ваттметр поглощаемой мощности	электромагнитных колебаний	не 0...12 ГГц		СП1, П4, З1, ДМ2, СВ1, ЗП1
РМ3-89 Ваттметр поглощаемой мощности	Средняя мощность электромагнитных колебаний	$10^{-1} \dots 10^2$ Вт в диапазоне не 8,24...37,5 ГГц	$\pm \{6+0,1 (P/P_x - 1)\}$ %	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СВ1, ЗП1
ОМК3-79 Ваттметр поглощаемой мощности	Мощность оптического излучения	$10^{-8} \dots 10^{-2}$ Вт в диапазоне 0,6...1,6 мкм	$\pm 2\%$	
Р2-83 Измерители КСВН паянормальные	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,03...5,0 - 50...+30 дБ в диапазоне 0,1...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 7/3,04; 3,5/1,52	$\pm (4...15)$ % $\pm (0,2...1,65)$ дБ	И6, СИ1, П4, СП1, З1, СВ1, ЗП1
Р2-86 Измерители КСВН паянормальные	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,03...5,0 - 50...+30 дБ в диапазоне 0,1...6 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 7/3,04; 3,5/1,52	$\pm (4...10)$ % $\pm (0,2...1,45)$ дБ	И6, СИ1, П4, СП1, З1, СВ1, ЗП1

Р2-89 Измерители нормальные	КСВН	коэффициента Модуль передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...6,0 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 72 × × 34; 58 × 25; 48 × 24; 7/3,04	$\pm (3...7) \%$ $\pm (0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СП4, СП1, СБ1, ЗП1
Р2-90 Измерители нормальные	КСВН	коэффициента Модуль передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...6,0 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 72 × × 34; 7/3,04	$\pm (3...7) \%$ $\pm (0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СП4, СП1, СБ1, ЗП1
Р2-91 Измерители нормальные	КСВН	коэффициента Модуль передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...6,0 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 58 × × 25; 7/3,04	$\pm (3...7) \%$ $\pm (0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СП4, СП1, СБ1, ЗП1
Р2-92 Измерители нормальные	КСВН	коэффициента Модуль передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...6,0 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 48 × 24	$\pm (3...7) \%$ $\pm (0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СП4, СП1, СБ1, ЗП1
Р2-93 Измерители нормальные	КСВН	коэффициента Модуль передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 35 × × 15; 7/3,04	$\pm (3...10) \%$ $\pm (0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СП4, СП1, СБ1, ЗП1
Р2-94 Измерители нормальные	КСВН	коэффициента Модуль передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 28,5 × × 12,5; 7/3,04	$\pm (3...10) \%$ $\pm (0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СП4, СП1, СБ1, ЗП1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
P2-95 Измерители КСВН па- норамные	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 23 × × 10; 7/3,04	$\pm(3...10) \%$ $\pm(0,2...1,2) \text{ дБ}$	И6, СИ, П4, СП, З1, СВ1, ЗП1
P2-96 Измерители КСВН па- норамные	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 16 × × 8; 7/3,04	$\pm(3...12) \%$ $\pm(0,2...1,4) \text{ дБ}$	И6, СИ, П4, СП, З1, СВ1, ЗП1
P2-97 Измерители КСВН па- норамные	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,03...5,0 -40...+30 дБ в диапа- зоне 0,1...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 35 × × 15; 28,5 × 12,5; 23 × 10; 16 × 8; 7/3,04	$\pm(3...12) \%$ $\pm(0,2...1,4) \text{ дБ}$	И6, СИ, П4, СП, З1, СВ1, ЗП1
P2-98 Измеритель КСВН па- норамный	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,05...5 0...-40 дБ в диапазоне 0,01...2,14 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 16/4,6	$\pm(4...7) \%$ $\pm(0,3...1,9) \text{ дБ}$	И4, СИ, П2, СП
P2-99 Измеритель КСВН па- норамный	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,05...5,0 0...-40 дБ в диапазоне 2,0...3,0 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 16/4,6	$\pm(5...10) \%$ $\pm(0,3...1,9) \text{ дБ}$	И4, СИ, П2, СП

Р2-100 Измеритель нормальный	КСВН	коэффициента передачи	1,05...5,0 0... – 50 дБ в диапазоне 0,01...2,14 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 16/6,95	$\pm(5...10)\%$ $\pm(0,3...2,3)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1
Р2-101 Измеритель нормальный	КСВН	коэффициента передачи	1,05...5,0 0... – 40 дБ в диапазоне 2,0...5,0 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 16/6,95	$\pm(5...10)\%$ $\pm(0,3...1,9)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1
Р2-102 Измеритель нормальный	КСВН	коэффициента передачи	1,05...5,0 0... – 50 дБ в диапазоне 0,01...2,14 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 7/3,04	$\pm(4...7)\%$ $\pm(0,3...2,3)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1
Р2-103 Измеритель нормальный	КСВН	коэффициента передачи	1,05...5,0 0... – 50 дБ в диапазоне 2,0...8,3 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 7/3,04	$\pm(5...10)\%$ $\pm(0,3...2,3)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1
Р2-104 Измеритель нормальный	КСВН	коэффициента передачи	1,07...5,0 0... – 35 дБ в диапазоне 8,15...18 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 7/3,04	$\pm(7...12)\%$ $\pm(0,3...1,7)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1
Р2-105 Измеритель нормальный	КСВН	коэффициента передачи	1,07...5,0 0... – 35 дБ в диапазоне 2,0...18 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 7/3,04	$\pm(10...15)\%$ $\pm(0,5...2,25)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1
Р2-106 Измеритель	КСВН	коэффициента	1,07...5,0 0... – 40 дБ	$\pm(7...12)\%$ $\pm(0,5...2,5)$ дБ	И4, СИ, П2, СП1

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
нормальный	передачи	в диапазоне 0,01...2,14 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 3,5/1,52		
P2-107 Измеритель КСВН панорамный	КСВН коэффициент передачи	1,07...5,0 0... - 40 дБ в диапазоне 2,0...8,3 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 3,5/1,52	$\pm (7...12)\%$ $\pm (0,5...2,5)$ дБ	И4, СИ1, П2, СП1
P2-108 Измеритель КСВН панорамный	КСВН коэффициент передачи	1,10...5,0 0... - 35 дБ в диапазоне 8,15...18 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 3,5/1,52	$\pm (10...15)\%$ $\pm (0,5...2,25)$ дБ	И4, СИ1, П2, СП1
P2-109 Измеритель КСВН панорамный	КСВН коэффициент передачи	1,1...5,0 0... - 35 дБ в диапазоне 2...18 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 3,5/1,52	$\pm (10...15)\%$ $\pm (0,5...2,25)$ дБ	И4, СИ1, П2, СП1
P2-111 Измеритель КСВН панорамный	КСВН коэффициент передачи	1,05...5,0 0... - 50 дБ в диапазоне 2,59...3,94 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 72 × 34	$\pm (4...8)\%$ $\pm (0,3...2,3)$ дБ	И4, СИ1, П2, СП1
P2-112 Измеритель КСВН панорамный	КСВН коэффициент передачи	1,05...5,0 0... - 50 дБ в диапазоне 3,2...4,8 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 58 × 25	$\pm (4...8)\%$ $\pm (0,3...2,3)$ дБ	И4, СИ1, П2, СП1

Р2-113 Измеритель КСВН панорамный	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,05...5,0 0...-50 дБ в диапазоне 3,94...5,64 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 48 × 24	$\pm (4...8) \%$ $\pm (0,3...2,3) \text{ дБ}$	И4, СИ, П2, СП
Р2-114 Измеритель КСВН панорамный	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,05...5,0 1,05...5,0 дБ в диапазоне 5,64...8,24 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 35 × 15	$\pm (4...8) \%$ $\pm (4...8) \%$	П4, СИ, П2, СП
Р2-115 Измеритель КСВН панорамный	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,05...5,0 0...-40 дБ в диапазоне 6,85...9,93 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 28,5 × 12,6	$\pm (4...8) \%$ $\pm (0,3...1,9) \text{ дБ}$	И4, СИ, П2, СП
Р2-116 Измеритель КСВН панорамный	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,05...5,0 0...-50 дБ в диапазоне 8,24...12,05 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 23 × 10	$\pm (4...8) \%$ $\pm (0,3...2,3) \text{ дБ}$	И4, СИ, П2, СП
Р2-117 Измеритель КСВН панорамный	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,05...5,0 0...-40 дБ в диапазоне 12,05...17,44 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 16 × 8	$\pm (4...8) \%$ $\pm (0,3...1,9) \text{ дБ}$	И4, СИ, П2, СП
Р2-123 Измеритель КСВН панорамный	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,1...5,0 0...-30 дБ в диапазоне 129,2...142,7 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 1,6 × 0,8	$\pm (11...16) \%$ $\pm (0,6...3,2) \text{ дБ}$	П1, СП, И4, СИ
РР2-01 Измеритель модуля коэффициента передачи и отражения	КСВН Модуль передачи	коэффициента	1,1...5,0 0...-30 дБ в диапазоне 78,33...118,1 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 2,4 × 1,2	$\pm (11...16) \%$ $\pm (0,6...2,4) \text{ дБ}$	П1, СП, И4, СИ

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
Р2-125 Измеритель модулей коэффициентов передачи и отражения	КСВН Модуль коэффициента передачи	1,1...5,0 0...-40 дБ в диапазоне ГГц; Р2-125—0,01...17,5 Р2-125/1—0,01...1,5 Р2-125/2—1,5...3,0 Р2-125/3—3,0...4,5 Р2-125/4—4,5...6,0 Р2-125/5—6,0...8,0 Р2-125/6—8,0...10,0 Р2-125/7—10,0...12,0 Р2-125/8—12,0...15,0 Р2-125/9—15,0...17,5	$\pm (7...12) \%$ $\pm (0,5...2,5) \text{ дБ}$ для канала 7/3,04 $\pm (0,8...2,8) \text{ дБ}$ для канала 3,5/1,52	СИ1, И5, СП1, П4 З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
Р4-53 Измеритель комплексных коэффициентов передачи	КСВН Коэффициент отражения Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения Фаза коэффициента передачи ГВЗ	1,05...5,0 0...1 -60...+30 дБ $0 \pm 180^\circ$ $0 \pm 180^\circ$ 1,5...200 нс в диапазоне 1,5...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 72 × 34; 58 × 25; 48 × 24; 35 × 15; 28,5 × 12,6; 23 × 10; 16 × 8; 7/3,04	$\pm (4...8) \%$ $\pm (10...18) \%$ $\pm (0,3...2,1) \%$ $\pm (7...12)^\circ$ $\pm (5...11)^\circ$ $\pm (3,5...12) \%$	СИ1, И6, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1
РК4-54 РК4-54/1/-/3/ Измеритель комплексных коэффициентов пе-	КСВН Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения	1,05...5 +30...-60 дБ $0 \pm 180^\circ$	$\pm (5...15) \%$ $\pm (0,5...4) \text{ дБ}$ $\pm (6...15)^\circ$	И4, СИ1, П2, СП1

редачи	Фаза коэффициента передачи	$0 \pm 180^\circ$ в диапазоне, ГГц: 0,11...18,0 (РК4-54) 0,11...2,0 (РК4-54/1) 2,0...8,3 (РК4-54/2) 8,15...18,0 (РК4-54/3) СВЧ-тракты, мм: 7/3,04; 3,5/1,52	$\pm (0,5...21,5)^\circ$	
РК4-55 Измеритель комплексных коэффициентов передачи	КСВН Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения	$1,03...20$ (7/3 мм) $1,05...10$ (3,5/1,52 мм) $+30...-80$ дБ $0 \pm 180^\circ$ $0 \pm 180^\circ$ в диапазоне 2...18 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 7/3,04; 3,5/1,52	$\pm (3...10) \%$ $\pm (0,2...1)$ дБ $\pm (5...9)^\circ$ $\pm (0,5...4)^\circ$	П4, И5, СИ1, СП1, З1, СБ1, ЗП1, ДМ2
Р4-62 Измеритель комплексных коэффициентов передачи и отражения	КСВН Коэффициент отражения Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения	$1,03...5$ $0...1,0$ $+10...-60$ дБ $0 \pm 180^\circ$ $0 \pm 180^\circ$ в диапазоне 17,44...25,95 ГГц; СВЧ-тракт, мм: $11 \times 5,5$	$\pm (3...15) \%$ $\pm (0,015...0,085) \%$ $\pm (0,3...2,1)$ дБ $\pm (3...20)^\circ$ $\pm (5...10)^\circ$	СИ1, И5, СП1, П4, З1, ДМ2  СБ1, ЗП1
Р4-63 Измеритель комплексных коэффициентов передачи и отражения	КСВН Коэффициент отражения Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения Коэффициент передачи Фаза коэффициента отражения	$1,03...5$ $0...1,0$ $+10...-60$ дБ $0 \pm 180^\circ$ в диапазоне 25,95...37,5 ГГц; СВЧ-тракт, мм: $7,2 \times 3,4$	$\pm (3...15) \%$ $\pm (0,015...0,085) \%$ $\pm (0,3...2,1)$ дБ $\pm (3...20)^\circ$	СИ1, И5, СП1, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1



Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
ц1-75 Стандарт частоты и времени	[Частота] [Время]	[5; 100 МГц, синусоидальные колебания] [1 Гц (1 с)] Импульсы амплитудой 2,5 В	[За 1 с— $4 \cdot 10^{-13}$ ; 10 с— $4 \cdot 10^{-14}$ ; 100 с— $1 \cdot 10^{-14}$ ; 1 ч— $3 \cdot 10^{-15}$ ; 1 сут— $5 \cdot 10^{-15}$ ] [Погрешность синхронизации $\pm 50$ нс]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, СБ1, ЗП1
ц1-76 Стандарт частоты и времени	[Частота] [Время]	[5 МГц] [1 Гц (1 с)] Импульсы амплитудой 2,5 В	[За 1 с $3 \cdot 10^{-12}$ ; 10 с— $7 \cdot 10^{-13}$ ; 100 с— $2 \cdot 10^{-13}$ ; 1000 с— $7 \cdot 10^{-14}$ ; 1 сут— $3 \cdot 10^{-14}$ ; 1 ч— $5 \cdot 10^{-14}$ ] [Погрешность синхронизации $\pm 200$ нс]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, СБ1 ЗП1
ц3-64 Частотомер электронно-счетный вычислительный	Частота непрерывных электрических сигналов синусоидальной формы  Период непрерывных электрических сигналов	0,005 Гц...1 ГГц  1 нс...200 с	$\pm (\delta_0 + 10^{-9}/t_{\text{сч}} + \delta_{\text{зап}})$  $\pm (\delta_0 + 10^{-9}/t_{\text{сч}} + \delta_{\text{зап}})$	СИ1, СП1, И5, П2, З1, СБ1, ЗП1 Возможность ручного включения в режим передачи информации

Несущая частота импульсно-модулированных сигналов	0,005 Гц...150 МГц	$\pm(\delta_0 + \frac{3 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{t_{\text{сч}}(\tau_p - 2 \cdot 10^{-7})}} + \frac{0,7 \cdot 10^{-9}}{\tau_p - 2 \cdot 10^{-7}})$	Возможность смены адреса при работе в системе КОП
Длительность импульса	10 нс...2 · 10 <sup>4</sup> с, f <sub>сч</sub> < 50 МГц	$\pm(\delta_0 \tau_x + \Delta_m \cdot 3 \cdot 10^{-9} / \sqrt{N} + \Delta_3 + 1,7 \cdot 10^{-9})$	При измерении длительности одиночных импульсов ±(δ <sub>0</sub> τ <sub>изм</sub> + Δ <sub>ш</sub> + Δ <sub>з</sub> + 2 · 10 <sup>-9</sup> )
Длительность интервалов времени	0,2...10 <sup>4</sup> с, τ <sub>к</sub> > 10 нс; f <sub>сч</sub> < 50 МГц	$\pm(\delta_0 t_x + \frac{\Delta_m \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{N}} + \Delta_3 + 1,7 \cdot 10^{-9})$	При измерении длительности одиночных импульсов ±(δ <sub>0</sub> t <sub>х</sub> + Δ <sub>ш</sub> + Δ <sub>з</sub> + 2 × 10 <sup>-9</sup> )
с разрешением	2 нс	$\delta_{Б/А} = \pm \left( \frac{\delta_{\text{зап}} t'_{\text{сч}}}{t'_{\text{сч}}} + \frac{1}{f_B t'_{\text{сч}}} \right);$	
Отношение частот	По входу А—0,005 Гц...150 МГц По входу Б, В—0,005 Гц...1000 МГц	$\delta_{Б/А} = \pm \left( \frac{\delta_{\text{зап}} t_{\text{сч}}}{t_{\text{сч}}} + \frac{8}{f_B t'_{\text{сч}}} \right)$	
Частота и период непрерывных сигналов синусоидальной формы	0,01 Гц...500 МГц	±(δ <sub>0</sub> + 10 <sup>-9</sup> /t <sub>сч</sub> + δ <sub>з</sub> + 1 ед. сч.)	СИ1, И1, СП1, П4, ЗП1, З1, ДМ2, ОП2
Частота и период прерывных сигналов импульсной формы	0,01 Гц...50 МГц τ <sub>к</sub> > 10 нс	±(δ <sub>0</sub> + 10 <sup>-9</sup> /t <sub>сч</sub> + δ <sub>з</sub> + 1 ед. сч.)	
Длительность интервалов времени с разрешением	0...100 с 0,05 нс	±(δ <sub>0</sub> t <sub>х+1</sub> нс + Δt <sub>уп</sub> + δ <sub>з+1</sub> ед. сч.)	

Ц3-65  
Частотомер вычислительный

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	Длительность импульсов и период следования импульсов	10 нс...100 с; $\tau_n > 10$ нс; $f_{сн} < 15$ МГц	$\pm (\delta_0 \tau_{x+1} \text{ нс} + \Delta \tau_{yp} + \delta_{x+1} \text{ ед. сч.})$	
ЧЗ-66 Частотомер электронный	Частота непрерывных сигналов синусоидальной формы	10 Гц...37,5 ГГц СВЧ-тракт, мм: 7/3, 0,4; 11 × 5,5; 7,2 × 3,4 В тракте 7/3,04 до 12 ГГц	$\pm \left( \delta_0 + \frac{1}{f_x t_{сч}} \right)$	СИ1, СП1, П4, ДМ2, СБ1, ЗП1
	Среднее значение несущей частоты импульсно-модулированных сигналов	0,1...37,5 ГГц; $\tau_n \geq 0,3$ мкс $f_{сн} > 100$ Гц Скважность 2...1000 СВЧ-тракты, мм: 7/3,04; 11 × 5,5; 7,2 × 3,4	$\pm \left( \delta_0 + \frac{1}{f_x t_{сч}} + \delta_{рег} + \frac{\Delta f_{опер}}{f_x} \right)$	
ЧЗ-71 Частотомер электронный	Частота непрерывных сигналов синусоидальной формы	10 Гц...37,5 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 7/3,04; 11 × 5,5; 7,2 × 3,4 В тракте 7/3,04 до 18 ГГц;	$\pm \left( \delta_0 + \frac{1}{f_x t_{сч}} \right)$	СИ1, СП1, И5, П4, ДМ2, СБ1, ЗП1
	Среднее значение несущей частоты импульсно-модулированных сигналов	0,1...37,5 ГГц $\tau_n \geq 0,3$ мкс $f_{сн} > 100$ Гц Скважность 2...1000 СВЧ-тракт, мм: 7/3,04; 11 × 5,5; 7,2 × 3,4	$\pm \left( \delta_0 + \frac{1}{f_x t_{сч}} + \delta_{рег} + \frac{\Delta f_{опер}}{f_x} \right)$	

РЧ3-72 Частотомер электронно-счетный	Частота непрерывных сигналов синусоидальной формы	37,5...118,1 ГГц; СВЧ-тракты, мм: 5,2 × 2,6; 3,6 × 1,8; 2,4 × 1,2	$\pm \left\{  \delta_0  + 5 \cdot 10^{-10} + \frac{f_{np}}{f_x} \left(  \delta_0  + \frac{2}{t_{сч} f_{np}} \right) \right\}$	СИ, СП, И5, П4, З1, ДМ1, ОП, СБ1, ЗП1
	Среднее значение несущей частоты ИМ сигналов	37,5...118,1 ГГц; $\tau_n \geq 0,1$ мкс $f_{сн} \geq 100$ Гц Сквозность 2...1000 СВЧ-тракты, мм: 5,2 × 2,6; 3,6 × 1,8; 2,4 × 1,2	$\pm \left\{  \delta_0  + 5 \cdot 10^{-10} + \frac{f_{np}}{f_x} \left(  \delta_0  + \frac{2}{t_{сч} f_{np}} \right) + \Delta f_{опер} + 2 \cdot 10^{-6} f_{гет\text{ ИМ}} \right\}$	
РЧ3-72 Частотомер электронно-счетный	Частота непрерывных сигналов синусоидальной формы	118,1...178,4 ГГц; СВЧ-тракт, мм: 1,6 × 0,8	$\pm \left\{  \delta_0  + 5 \cdot 10^{-10} + \frac{f_{np}}{f_x} \left(  \delta_0  + \frac{2}{t_{сч} f_{np}} \right) \right\}$	СИ, СП, П4, З1, ДМ1, ОП, СБ1, ЗП1
	Среднее значение несущей частоты ИМ сигналов	118,1...178,4 ГГц; $\tau_n \geq 0,1$ мкс $f_{сн} \geq 100$ Гц Сквозность 2...1000 СВЧ-тракт, мм: 1,6 × 0,8	$\pm \left\{  \delta_0  + 5 \cdot 10^{-10} + \frac{f_{np}}{f_x} \left(  \delta_0  + \frac{2}{t_{сч} f_{np}} \right) + \Delta f_{опер} + 2 \cdot 10^{-6} f_{гет\text{ ИМ}} \right\}$	
РЧ6-01 Синтезатор частот	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[1,07...4 ГГц] (0,6...1,8) В	Действительное значение частоты внутреннего кварцевого генератора $[1 \cdot 10^{-8}]$ Относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора $[3 \cdot 10^{-7}$ за год]	СИ, СП, И6, П1, З1, ДМ2, СБ2

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
РЧ6-02 Синтезатор частот	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[4...8,15 ГГц] (0,6...1,8 В)	Действительное значение частоты внутреннего кварцевого генератора [ $1 \cdot 10^{-8}$ ] Относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора [ $3 \cdot 10^{-7}$ за год]	СИ1, СП1, И6, П1, З1, ДМ2, СБ2
РЧ6-03 Синтезатор частот	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[8,15...17,85 ГГц] (0,2...0,65 В)	Действительное значение частоты внутреннего кварцевого генератора [ $1 \cdot 10^{-8}$ ] Относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора [ $3 \cdot 10^{-7}$ за год]	СИ1, СП1, И6, П1, З1, ДМ2, СБ2
РЧ6-04 Синтезатор частот	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[0,01...110 МГц] ( $3 \cdot 10^{-8}$ ...1 В) Дискретность установки частоты 1 Гц	Относительная погрешность по частоте [ $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ за 1 ч]	СИ1, СП1, И6, П1, З1, ДМ2, СБ2
РЧ6-05 Синтезатор частот	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[0,3...1200 МГц] ( $3 \cdot 10^{-8}$ ...1 В) Дискретность установки частоты 1; 2 Гц	Относительная погрешность по частоте [ $1 \cdot 10^{-8}$ за 1 ч]	СИ1, СП1, И6, П1, З1, ДМ2, СБ2
Г7-1 Синтезатор частот	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[10 Гц...21 МГц] Дискретность установки частоты 0,001 Гц	Погрешность установки частоты [ $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ ]	СИ1, СП1, И6, П3,

			Относительная нестабильность частоты $[\pm 1 \cdot 10^{-7}]$ за 15 мин	З1, ДМ1, СБ1
Г7-2; Г7-2/1 Синтезатор частоты	[Синусоидальный сигнал высокостабильной частоты]	[200 Гц...81 МГц] Дискретность установки частоты 0,001 Гц	Погрешность установки частоты $[1 \cdot 10^{-7}]$ Относительная нестабильность частоты $[1 \cdot 10^{-8}]$ за сутки	СИ1, СИП, ИБ, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1
Ч7-37 Синхронометр	[Частотные импульсные сигналы] [Шкалы времени] Основная Задержанная [Задержка] [Временной сдвиг] [Частота]	[100; 10; 1 кГц; 100; 10; 1; 1/10; 1/60 Гц] [1 с] [1; 0,1; 0,08 с] [(0...999999,9) мкс] [(0,1...999999,99) мкс] [5; 1 МГц]	[100 ± 10 мкс; 10 ± 1 мкс; 1 ± 0,5 мкс; 1000 ± 100 мс; 100 ± 10 мс; 10 ± 1 мс; 1 ± 0,1 мс]  [± 0,02 мкс] [± 0,02 мкс] [1 · 10 <sup>-11</sup> /1 с; 3 · 10 <sup>-9</sup> /1 ч]	СИ1, И4
Ч7-38 Приемник-компаратор	Принимаемые частоты Частоты от стандарта [Частота выходных сигналов-импульсов]	5...79,9 кГц; 178...287,8 кГц 0,1; 1; 5; 10 МГц [2 кГц; 1 МГц; 128...207,9 кГц с шагом 0,1 кГц; 130 кГц; 100 Гц]	Погрешность сличения: 5 · 10 <sup>-12</sup> за 24 ч; ± 5 · 10 <sup>-13</sup> за 10 сут	СИ1, И4
Ч7-39 Компаратор частотный	Нестабильность частоты $\Delta f/f$  Задержка входных сигналов	Внутренний гетеродин 1; 5; 10 МГц Внешний гетеродин 1...50 МГц $\frac{f_{\text{вн}}}{\tau}   (90...110) \cdot 10^{-8} \text{ с}   \rightarrow$	$\tau_c$   0,1   1   10 $\Delta f/f$   1 · 10 <sup>-10</sup>   2 · 10 <sup>-12</sup>   3 · 10 <sup>-13</sup>  $\tau_c$   0,1   1   $\Delta f/f$   8 · 10 <sup>-12</sup>   7 · 10 <sup>-13</sup>   $\rightarrow$	СИ1, И4, З1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
		$\begin{array}{c} \xrightarrow{5 \text{ МГц}}   \xrightarrow{\quad} \\ (180 \dots 220) \cdot 10^{-9} \text{ с} \\ \xrightarrow{10 \text{ МГц}} \end{array}$ $\xrightarrow{(90 \dots 110) \cdot 10^{-9} \text{ с}}$	$\begin{array}{c} \xrightarrow{10}   \xrightarrow{100} \\ 5 \cdot 10^{-14} \quad 8 \cdot 10^{-15} \end{array}$	
ФК2-35 Измеритель разности фаз и отношений напряжения	Плавная $2 \cdot 10^{-8}$ с при $f_{\text{к}} = 5 \text{ МГц}$  Разность фаз: синусоидальных сигналов импульсных сигналов Переменное напряжение синусоидальной формы Отношение переменных напряжений синусоидальной формы Частота напряжения синусоидальной формы	$0 \dots 360^\circ$  $0 \dots -180^\circ; 0 \dots +180^\circ$ $1 \dots 1000 \text{ мВ} (0,1 \dots 300 \text{ В}$ с делителями) $0 \dots 60 \text{ дБ}$  $0,1 \text{ Гц} \dots 10 \text{ МГц}$  Диапазон входных синусоидальных сигналов $0,003 \dots 300 \text{ В};$ импульсных сигналов (меандр) $0,45 \dots 4,5 \text{ В}$	$0,03 \dots 0,9^\circ$  $0,3 \dots 0,6^\circ$ 15%  $\pm (2 \dots 2,3) \text{ дБ}$  $0,1 \dots 0,3\%$	П4, И5, СП1, СИ1, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
ФК2-39 Измеритель разности фаз и отношений напряжения	Разность фаз Напряжение первой гармоники Отношение уровней сигнала	$0 \dots +180^\circ, 0 \dots -180^\circ$ $0,3 \dots 1000 \text{ мВ}$  $80 \text{ дБ} (0,1 \dots 1 \text{ МГц})$	$\pm 0,4^\circ$ (при равных уровнях сигналов)  $\pm (6 \dots 10)\%$  $0,1 \dots 0,9 \text{ дБ}$	П4, И5, СИ1, СП1, З1, СБ1,

	налов Модуль комплексного сопротивления Фаза комплексного со- противления	90 дБ (1...1000 МГц) 1 Ом...10 кОм В диапазоне 0,1...1000 МГц	$\pm 5\%$ для $ z  \leq 2,5$ кОм $\pm 10\%$ для $ z  > 2,5$ кОм 3...4°	ЗП1, ДМ2, ОП1
ФК4-17 ФК4-18 ФК4-19 ФК4-20 Измерители неравномер- ности ГВП панорамные	Неравномерность ГВЗ Неравномерность АЧХ Дифференциальное уси- ление Коэффициент передачи Загущение несогласован- ности Мощность	0...200 нс 0...25 дБ 0...50% +60...-40 дБ 6...28 дБ 20...-40 дБ в диапазоне, ГГц: ФК4-17 1,3...2,3 ФК4-18 2,3...4,3 ФК4-19 4,3...7,0 ФК4-20 7,0...9,8	0,15...0,6 нс 1...4 дБ 1...4% $\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(1,5...3)$ дБ $\pm(1...2)$ дБ	СП1, П4, З1, ДМ1
Л2-68 Измеритель параметров маломощных транзисто- ров	Измерение: $ h_{21E} $ Установка: [напряжения коллекто- ра] [тока эмиттера]	1...32 [1...300 В] [0,5...50 мА]	$\pm 10\%$ [ $\pm 2\%$ ] [ $\pm 2\%$ ]	СИ1, СП1, И5, П4, ДМ2, ЗП1, З1, СБ1
Л2-69 Измеритель статических параметров мощных транзисторов и диодов	Измерение: обр. тока коллектора, эмиттера, обр. тока кол.-эмит., напряжения насыщения база-эмит- тер и кол.-эмит. пост. обр. тока диода пост. прям. напр. диода	$10^{-7}...10^{-1}$ А  0,05...10 В $10^{-7}...10^{-1}$ А 0,05...10 В	$\pm 5\%$ $\pm 5\%$ $\pm 5\%$ $\pm 5\%$ $\pm 5\%$	СИ1, СП1, И5, П4, ДМ2, ЗП1, З1 СБ1



Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	Установка: [напр. эмиттера.] [напр. коллект.] [имп. тока коллект.] [имп. тока базы] [обр. напр. диода] [имп. тока диода]	[0,5...29,9 В] [1...199,9 В] [0,1...49,9 А] [0,01...9,99 А] [1...199,9 В] [0,01...9,99 А]	[± 2%] [± 2%] [± 4%] [± 4%] [± 2%] [± 4%]	
Л2-70 Измеритель статических параметров маломощных транзисторов и диодов	Измерение: обратного тока коллектора, эмиттера, кол.-эмит. Напряжения насыщения база-эмит., кол.-эмит. постоян. прямого напряжения диода	$10^{-9} \dots 10^{-3} \text{ А}$  0,05...10 В	± 5%  ± 5%	СИ1, СП1, И5, П4
	$I + I_{21E}$ Установка: [напряжения коллектора, эмиттера, обр. напр. диода] [тока коллектора, эмиттера, базы, постоян. обр. тока диода]	5...9990 [0,5...199,9 В]  [0,1...199,9 мА]	± 5% [± 2%]  [± 2%]	ДМ1, ЗП1, З1, СБ1
Л2-71 Измеритель параметров аналоговых интегральных микросхем	Измерение: тока потребления ИС напряжения смещения	0,1...100 мА 0,02...100 мВ	± 2% ± 2%	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1,

		СИ1, СП1, и5,
выходного напряжения коэффициента усиления по напряжению коэффициента ослабления синфазного входного напряжения среднего входного тока и разности входных токов коэффициента усиления на переменном токе выходного напряжения стабилизаторов напряжения коэффициента нестабильности по напряжению коэффициента нестабильности по току выходного тока ЦАП дифференциальной нелинейности	0,1...51,15 В 40...120 дБ 40...120 дБ 0,1 нА...10 мкА 20...80 дБ 3...51,15 В 0,1...10% 0,01...1,0% 0,5...5 мА 0,01...0,2% [3...51,15 В] [0,01...10,23 В] [0,016 мВ...1,023 В] [1...102 мА] и [0,002...2,046 А]	±1% ±1,5 дБ ±3 дБ ±4% ±1 дБ ±1% ±8% ±8% ±1% ±8% [±1%] [±0,2%] [±3%] [±3%] [±3%]
Л2-72 Измеритель параметров — классификатор	Измерение: $I + k_{21E}$ обр. тока	±5% ±5%

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
транзисторов	коллектора  Установка: [имп. тока эмитт.] [имп. тока коллект.] [имп. тока базы] [пост. напр. кол.] [пост. обратн. напр.]	$[10^{-1} \dots 99,9 \text{ мА}]$ $[0,1 \dots 49,9 \text{ А}]$ $[10^{-3} \dots 9,9 \text{ А}]$ $[0,5 \dots 99,9 \text{ В}]$ $[1 \dots 499 \text{ В}]$	$[\pm 4\%]$ $[\pm 4\%]$ $[\pm 4\%]$ $[\pm 2\%]$ $[\pm 2\%]$	ПЗ, ЗП, СБ1, ЗП1, ДМ2
Л2-73 Измеритель параметров — классификатор полевых транзисторов	Измерение: крутизны на частоте 10 кГц тока утечки затвора  Установка: [напр. на стоке $U_{C1}$ ] [ $U_{C2}$ ] [напр. на подложке] [тока стока]	$0,1 \dots 100 \text{ мСм}$ $10^{-10} \dots 10^{-4} \text{ А}$  $[0,3 \dots 49,9 \text{ В}]$ $[1,0 \dots 49,9 \text{ В}]$ $[0,3 \dots 30 \text{ В}]$ $[1 \dots 999 \text{ мА}]$	$\pm 8\%$ $\pm 10\%$  $[\pm 2\%]$ $[\pm 2\%]$ $[\pm 2\%]$ $[\pm 4\%]$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, ЗП, СБ1, ЗП1, ДМ2
Л2-74 Измеритель параметров — классификатор диодов	Измерение: пост. прям. напр. диода пост. обр. тока диода	$0,1 \dots 5 \text{ В}$ $0,1 \dots 20 \text{ В (имп.)}$ $10^{-4} \dots 99,9 \text{ мА}$	$\pm 5\%$ $\pm 10\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, ЗП,

	Разработка по напр. стабилизации стабилизаторов Установка: [пост. прям. тока] [импульсн.] [пост. обр. напр.] [тока стабилизации]	3...40 В  [1...999 мА] [0,1...49,9 А] [1...999 В] [0,5...199 мА]	±1%  [±5%] [±4%] [±2%] [±3%]	СБ1, ЗП1, ДМ2
Л2-79 Измеритель параметров мощных высоковольтных транзисторов	Измерение: обр. токов напряжений насыщения $I_{21E}$ границ. напряжения Установка: [напр. коллектора] [импульсн. тока коллектора] [импульсн. тока базы] [пост. токов коллектора, базы]	$10^{-7}...10^{-1}$ А 0,1...10 В 2...100 000 10...3000 В  [2...3000 В]  [ $10^{-5}...20$ А] [ $10^{-5}...10$ А]  [ $10^{-5}...0,1$ А]	±3% ±3% ±3% ±3%  [±1,5%] [±1,5%] [±1,5%] [±1,5%]	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, СБ1, ЗП1, ДМ2
Л2-80 Измеритель статистических параметров полевых транзисторов	Измерение: порог. напр. и напр. отсечки тока утечки затвора	0,1...30 В  $10^{-10}...10^{-5}$ А, $10^{-12}...10^{-10}$ (индикат.)	±4% ±8%	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2,

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	тока стока импл. тока стока крутизны характеристики сопрот. сток-исток Установка: [напр. затвора и подложки] [напр. стока] [импульсн. напр. стока] [пост. тока стока] [импульсн. тока стока]	$0,3 \cdot 10^{-9} \dots 10^{-1} \text{ A}$ , $10^{-1} \dots 30 \text{ A}$ $10^{-4} \dots 3 \text{ См}$ $0,3 \dots 1000 \text{ Ом}$ [0,1...29,9 В] [1...999 В] [3...29,9 В] [0,1...99,9 мА] [0,1...29,9 А]	$\pm (4 \dots 8) \%$ $\pm 8 \%$ $\pm (4 \dots 8) \%$ [ $\pm 2 \%$ ] [ $\pm 2 \%$ ] [ $\pm 3 \%$ ] [ $\pm 1,5 \%$ ] [ $\pm 3 \%$ ]	СБ1, ЗП1
С1-121 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	Диапазон напряжений 8 мВ...250 В Диапазон временных интервалов 15 нс...10 с	$\pm 3 \%$ $\pm 3 \%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, ЗП1
С1-129 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	30 мВ...8 В 2 нс...1 с	$\pm 5 \%$ $\pm (0,8 \dots 5) \%$	СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, ОП1, СБ1, ЗП1

С1-122/8 (с блоком ЯЧС-122) Осциллограф универсальный с блоком анализа сигналов	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	2 мВ...250 В 80 нс...12 с	±4% ±(1...4)%	СИ1, СИ1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
С9-14 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	5 мВ...160 В $8 \cdot 10^{-8}$ ...0,6 с	±(2,5...5)% ±(1,2...5)%	П4, СП1, ДМ1, И6, СБ1, З1, СИ1, ЗП1
С8-21 (с блоком ЯЧС-122) Осциллограф запоминающий	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	2 мВ...250 В 80 нс...12 с	±4% ±(1...4)%	СИ1, СИ1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
С9-17 Осциллограф программируемый	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	$15 \cdot 10^{-3}$ ...220 В $4 \cdot 10^{-9}$ ...0,5 с	±4% ±(1,5...4)%	СП1, СИ1, П4, И6, З1, ДМ1, СБ1, ОП1
С9-18 Осциллограф автоматизированный	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	10 мВ...100 В $4 \cdot 10^{-8}$ ... $5 \cdot 10^{-2}$ с	±(2,2...4)% ±(2...4)%	П4, СП1, ДМ2, СБ1, И6, СИ1, З1, ЗП1
С9-19 Осциллограф запоминающий	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	2 мВ...100 В 20 нс...50 с	±(1,5...6)% ±2%	П4, СП1, ДМ1, СБ1, И6, СИ1, З1, ЗП1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
C9-20 Осциллограф вычислительный	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	20 мВ...250 В 100 нс... $8 \cdot 10^4$ с	$\pm 1,2\%$ $\pm 0,2\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
C9-21 Осциллограф вычислительный	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	20 мВ...250 В 250 нс... $8 \cdot 10^4$ с	$\pm 0,8\%$ $\pm 0,2\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
C9-22 Осциллограф вычислительный	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	20 мВ...250 В 2 мкс... $8 \cdot 10^4$ с	$\pm 1,4\%$ $\pm 0,5\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
C9-23 Осциллограф вычислительный	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	25 мВ...8 В 4 мкс... $8 \cdot 10^4$ с	$\pm 1,9\%$ $\pm 0,2\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
C9-24 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	20 мВ...250 В 250 нс... $8 \cdot 10^4$ с	$\pm 0,8\%$ $\pm 0,2\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1

С9-25 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	20 мВ...250 В 2 мкс... $8 \cdot 10^4$ с	$\pm 1,4\%$ $\pm 0,5\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
С9-26 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	25 мВ...8 В 4 мкс... $8 \cdot 10^{-4}$ с	$\pm 1,9\%$ $\pm 0,2\%$	СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1
С9-27 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	100 мВ...100 В $5 \cdot 10^{-8}$ ... $2 \cdot 10^4$ с	$\pm (1,4...5)\%$ $\pm 0,2\%$	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
С9-28 Осциллограф	Напряжение произвольной формы Временные интервалы	5 мВ...250 В 100 нс...50 с	$\pm (3...6)\%$ $\pm 2\%$	П4, СП1, ДМ1, СБ1, И6, СИ1, З1, ЗП1
СК2-24 Измеритель коэффициента амплитудной модуляции вычислительный	Пиковое и среднее значение коэффициента АМ Среднеквадратическое значение коэффициента АМ Частота входного сигнала Среднеквадратическое значение напряжения входного сигнала	0,3...100% (в диапазоне несущей 0,01...500 МГц) 0,1...70% 0,01...500 МГц 0...1 В	$\pm (3,0 \cdot 10^{-2} M + 0,2\%)$ $\pm (0,1 M + 0,3\%)$ $\pm (10^{-5} f + 5 \cdot 10^3 \text{ Гц})$ $\pm 2 \text{ дБ}$	СИ1, СП1, И2, П2, З1, ДМ2, ЗП1
СКЗ-45,	Пиковое значение де-	0,1...1000 кГц	$\pm (0,1 \Delta f + 0,005 \text{ кГц})$	СИ1,



Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5
Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
СКЗ-45/1 Измеритель модуляции вычислительный	виации частоты Среднеквадратическое значение девиации частоты Пиковое значение коэффициента АМ Среднеквадратическое значение коэффициента АМ Девиация фазы несущей Напряжение входного сигнала Коэффициент гармоник огубающей	(в диапазоне 0,1...1000 МГц) 0,005...300 кГц  1...100% (в диапазоне 0,1...500 МГц) 0,1...70%  1...100 рад 0,1...1 В  1...10%	$\pm (0,15 \Delta f + 0,002 \text{ кГц})$  $\pm (0,1 M + 0,15\%)$  $\pm (0,15 M + 0,05\%)$  $\pm 2 \text{ дБ}$  $\pm (0,1 K_r + 0,5\%)$	СП1, И2, П2, З1, ДМ2, ЗП1
С4-82 Анализатор спектра	Частота Напряжение Спектральная плотность шума Отношение напряжений Временные интервалы	300 Гц...1500 МГц 1 мкВ...3 В $10^{-17} \dots 10^{-3} \text{ Вт/Гц}$  0...70 дБ 10 мс...100 с	$\pm 10^{-7} f_c$ $\pm 1,5 \text{ дБ}$ $\pm 2 \text{ дБ}$  $\pm (1...3) \text{ дБ}$ $\pm 30\%$	СИ1, СП1, И1, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
СК4-83 Анализатор спектра	Частота Напряжение Мощность Спектральная плотность шума Отношение уровней	10 Гц...1 МГц 31 нВ...10 В $20 \cdot 10^{-18} \dots 0,2 \text{ Вт}$ $10^{-18} \dots 63 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/Гц}$  0...90 дБ	$\pm 10^{-7} f_c$ $\pm (2,4...37)\%$ $\pm (0,24...2,8) \text{ дБ}$ $\pm (0,37...2,8) \text{ дБ}$  $\pm (0,24...2,8) \text{ дБ}$	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1

	<p>Частота непрерывного синусоидального сигнала</p> <p>Уровень непрерывного синусоидального сигнала</p> <p>Временные интервалы</p>	<p>10 Гц...1 МГц; 5 МГц</p> <p>1 мВ...1 В</p> <p>1 мс...2000 с</p>	<p><math>\pm 10^{-7} f_c</math></p> <p><math>\pm (8...10)\%</math></p> <p><math>\pm 30\%</math></p>	<p>СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1</p>
СК4-84 Анализатор спектра	<p>Частота</p> <p>Напряжение</p> <p>Мощность</p> <p>Спектральная плотность шума</p> <p>Отношение уровней</p> <p>Временной интервал</p> <p>Частота непрерывного синусоидального сигнала</p> <p>Уровень непрерывного синусоидального сигнала</p>	<p>30 Гц...110 МГц</p> <p>70 нВ...2,2 В</p> <p><math>10^{-16} ... 0,1 \text{ Вт}</math></p> <p><math>10^{-16} ... 10^{-2} \text{ Вт/Гц}</math></p> <p>0...90 дБ</p> <p>1 мс...2000 с</p> <p>30 Гц...110 МГц</p> <p>0,1 мВ...0,2 В</p>	<p><math>\pm 10^{-7} f_c</math></p> <p><math>\pm (0,65...3,6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (0,65...3,6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (0,68...3,6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (0,5...3,6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm 30\%</math></p> <p><math>\pm 10^{-7} f_c</math></p> <p><math>\pm 0,8 \text{ дБ}</math></p>	<p>СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1</p>
С4-85 Анализатор спектра	<p>Частота</p> <p>Напряжение</p> <p>Мощность</p> <p>Спектральная плотность шума</p> <p>Отношение уровней</p> <p>Временные интервалы</p>	<p>100 Гц...39,6 ГГц</p> <p>1 мкВ...3 В</p> <p><math>10^{-16} ... 10^{-2} \text{ Вт}</math></p> <p><math>10^{-17} ... 10^{-2} \text{ Вт/Гц}</math></p> <p>0...80 дБ</p> <p>1 мс...2000 с</p>	<p><math>\pm (10^{-7} f_c + 2 \text{ Гц})</math></p> <p><math>\pm (3...6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (3...6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (3...6) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm 1 \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm 30\%</math></p>	<p>СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1</p>
РСК4-86 Анализатор спектра	<p>Частота</p> <p>Напряжение</p> <p>Мощность</p> <p>Спектральная плотность шума</p> <p>Отношение уровней</p>	<p>25 МГц...1,5 ГГц</p> <p>40 нВ...2,8 В</p> <p><math>3 \cdot 10^{-17} ... 1 \text{ Вт}</math></p> <p><math>3 \cdot 10^{-17} ... 5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/Гц}</math></p> <p>0...90 дБ</p>	<p><math>\pm (10^{-7} f_c + 0,1 \text{ П} + 20 \text{ Гц})</math></p> <p><math>\pm (1,8...2,2) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (1,8...2,5) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (1,8...3) \text{ дБ}</math></p> <p><math>\pm (0,5...2) \text{ дБ}</math></p>	<p>СИ1, СП1, И5, П4, ДМ1, З1, СБ1, ЗП1</p>

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	Временные интервалы	2 мс...200 с	±30%	
РСК4-87 Анализатор спектра	Частота Мощность Спектральная плотность шума Отношение уровней Временные интервалы	1...4 Гц $10^{-12}$ ...0,1 Вт $10^{-17}$ ... $10^{-6}$ Вт/Гц 0...90 дБ 2 мс...200 с	$10^{-2}f_c$ ±(1,8...4) дБ ±(1,8...4) дБ ±1 дБ ±30%	СИ1, СП1, И5, П4 ДМ1, З1, СБ1, ЗП1
РСК4-88 Анализатор спектра	Частота Мощность Спектральная плотность шума Отношение уровней Временные интервалы	4...8 ГГц $10^{-12}$ ...0,1 Вт $10^{-17}$ ... $10^{-6}$ Вт/Гц 0...90 дБ 2 мс...200 с	$\pm 10^{-2}f_c$ ±(1,8...4) дБ ±(1,8...4) дБ ±1 дБ ±30%	СИ1, СП1, И5, П4, ДМ1, З1, СБ1, ЗП1
РСК4-89 Анализатор спектра	Частота Мощность Спектральная плотность шума Отношение уровней Временные интервалы	8...17,44 ГГц $10^{-12}$ ...0,1 Вт $10^{-17}$ ... $10^{-6}$ Вт/Гц 0...90 дБ 2 мс...200 с	$\pm 10^{-2}f_c$ ±(1,8...4) дБ ±(1,8...4) дБ ±1 дБ ±30%	СИ1, СП1, И5, П4, ДМ1, З1, СБ1, ЗП1
РСК4-90 Анализатор спектра	Частота Мощность Спектральная плотность шума Отношение уровней	1...17,44 ГГц $10^{-12}$ ...0,1 Вт $10^{-17}$ ... $10^{-6}$ Вт/Гц 0...90 дБ	$\pm 10^{-2}f_c$ ±(1,8...4) дБ ±(1,8...4) дБ ±1 дБ	СИ1, СП1, И5, П4, ДМ1, З1, СБ1, ЗП1

Временные интервалы	2 мс...200 с	± 30 %	
СК4-91 Анализатор сигналов двухканальный	Частота Напряжение Разность фаз Кэффициент нелинейных искажений	0...200 кГц 1 мВ...16 В ± 90° 1...90 %	СИ, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1
СК4-92 Анализатор нестационарных сигналов двухканальный	Временные интервалы Частота полигармонического и псевдослучайного шумового сигнала в полосе уровня Корреляционная функция Отношение напряжений	5 мкс...100 с 0...200 кГц  0,3...3 В ± 1  0...70 дБ	± 0,003...0,2 % ± (3...15) % ± 5° ± 6 % ± 0,2 % ± 8 %  ± 8 %  ± (0,5...6) дБ
СК4-93 Анализатор сигналов многоканальный	Частота Напряжение Разность фаз	0...2000 кГц 1 мкВ...16 В ± 90°	± (5 · 10 <sup>-4</sup> f <sub>c</sub> + 0,002 П <sub>осб</sub> + 2 Гц) ± (3...15) % ± 5°
СК4-94 Анализатор нестационарных сигналов многоканальный	Кэффициент нелинейных искажений Временные интервалы Полигармонический сигнал в полосе уровня Корреляционная функция Отношение напряжений	1...90 %  1 мкс...100 с 0...200 кГц 0,3...3 В  ± 1  0...70 дБ	± 6 % ± 0,2 % ± 8 %
СБ-12 Измеритель нелинейных искажений	Кэффициент гармоник Переменное напряжение произвольной формы	0,1...100 % в диапазоне 10 Гц...199,9 кГц 100 мкВ...100 В среднеквадратическое	± {(0,03...0,1) К <sub>г.н</sub> + (0,02 - 0,06)} % ± {(0,015...0,05) U <sub>x</sub> + 20 · 10 <sup>-6</sup> }, В

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	2	3	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1		2	3	4	5
837 Мультиметр сигна- льный		Суммарный уровень фона и шума на несимметричном входе Частота сигнала синусоидальной и искаженной формы	значение в диапазоне 10 Гц...1 МГц 0...—70 дБ относительно 0,775 В 10 Гц...200 кГц	$\pm 1$ дБ  $\pm 0,005f_x$ Гц	
		Сигнатурный анализ	Максимальная частота внешнего управляющего сигнала «Такт» 25 МГц. Начало и окончание сигнатурной обработки определяются внешними управляющими сигналами		П4, СП1, И5, СИ1, З1, СБ1, ЗП1, ДМ2
		Частота следования импульсных сигналов	Диапазон 1 Гц...50 МГц	Относительная погрешность измерения частоты 0,01%	
		Счет числа импульсов	0...99999	Погрешность счета числа импульсов $\pm 1$ ед. сч.	
		Временные интервалы	100 нс...99,999 с	Относительная погрешность измерения временных интервалов 0,01%	
		Максимальные и минимальные значения импульсных напряжений Напряжение постоянного тока	50 мВ...12 В (положительной и отрицательной полярности) 1 мВ...400 В (положительной и отрицательной полярности)	Основная погрешность, %: $\pm 0,1$ — до 25 В $\pm 0,25$ — свыше 25 В	

Ц3-1 Анализатор сигнатурный	Разность двух напряжений постоянного тока положительной и отрицательной полярности Измерение сопротивления постоянного току Измерение температуры	Диапазон каждого из напряжений 1 мВ...400 В  Диапазон 1 Ом...10 МОм  Диапазон —40...100° С	Основная погрешность, %: ±1—до 1 МОм ±10—свыше 1 МОм Погрешность ±2° С	П4, СП1 И5, СИ1 З1, СБ1 ЗП1, ДМ1
	Сигнатурный анализ	Максимальная частота внешнего управляющего сигнала «Такт» 45 МГц. Наличие внутренней памяти на 255 сигнатур. Режим работы: запуск и остановка внешними управляющими сигналами; запуск внешним сигналом и остановка по окончанию счета заданного числа тактовых импульсов; обработка в задержанном окне		
	Логический анализ	Максимальная частота внешних тактовых импульсов в синхронном режиме: 25 МГц при 32 информационных каналах 50 МГц при 16 информационных каналах Максимальная частота внутренних тактовых импульсов в асинхронном режиме:		
Ц2-1 Анализатор логических состояний цифровых схем				П4, СП1 И5, СИ1 З1, СБ1 ЗП1, ДМ1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование: прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
		<p>100 МГц при 16 информационных каналах;  200 МГц при 8 информационных каналах.  Глубина памяти каждого канала:  512 бит при 32 информационных каналах  1024 бит при 16 информационных каналах  2048 бит при 8 информационных каналах  Форма отображения информации:  временные диаграммы по 16 каналам;  таблицы истинности в двоичной, восьмеричной или 16-ричной системах счисления  Временная диаграмма может изображаться в 4-, 8-, 16- и 32-кратном масштабе  Комбинированный запуск по 32 каналам на частоте до 25 МГц; по 16 каналам на частоте до 100 МГц и по 8 каналам на частоте 200 МГц</p>		

X1-54 Прибор для исследования АЧХ	Рабочий диапазон Поддиапазон I Поддиапазон II Полоса качания Динамический диапазон воспроизведения АЧХ	Режим поиска помехи по 4 каналам. Минимальная длительность помехи 5 нс при максимальной частоте 50 МГц Цифровая задержка запуска до 65 535 тактов Логические пороговые уровни (ТТЛ- и ЭЛС-логика), а также регулируемые в пределах —9,9...9,9 В	0,1...150 МГц 0,1...5,7 МГц 5,6...150 МГц $1,5 \cdot 10^3 \dots 150 \cdot 10^6$ Гц 20 дБ — линейный масштаб 70 дБ — логарифмический масштаб	$\pm (3 \cdot 10^{-4} f_x + 0,05 \Delta f) \%$ $\pm 280$ Гц... $\pm 6$ кГц $\pm 2,5 \dots \pm 150$ кГц $\pm (0,4 + 0,05 A_x)$ дБ $\pm 1,5$ дБ	С1, ИБ, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1
X1-55 Прибор для исследования АЧХ	Рабочий диапазон Поддиапазон I Поддиапазон II Поддиапазон III Полоса качания Динамический поддиапазон воспроизведения АЧХ	1...1400 МГц 1...11 МГц 10,8...132 МГц 128...1400 МГц 0,1...1400 МГц 20 дБ — линейный масштаб, 70 дБ — логарифмический масштаб	1...1400 МГц 1...11 МГц 10,8...132 МГц 128...1400 МГц 0,1...1400 МГц 20 дБ — линейный масштаб, 70 дБ — логарифмический масштаб	$\pm (3 \cdot 10^{-4} f_x + 0,05 \Delta f) \%$ $\pm 13$ кГц $\pm 130$ кГц $\pm 1,4$ МГц $\pm (0,4 + 0,05 A_x)$ дБ $\pm 1,5$ дБ	СИ1, ИБ, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1
X1-56 Прибор для исследования АЧХ	Рабочий диапазон Поддиапазон I Поддиапазон II Поддиапазон III	1...250 МГц 1...10 МГц 5...50 МГц 25...250 МГц	1...250 МГц 1...10 МГц 5...50 МГц 25...250 МГц	$\pm (3 \cdot 10^{-4} f_x + 0,05 \Delta f) \%$ $\pm 20$ кГц $\pm 50$ кГц $\pm 250$ кГц	СИ1, ИБ, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1



Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
	Полоса качания Динамический диапазон воспроизведения	0,1...249 МГц 40 дБ	$\pm (0,4 + 0,04 A_x)$	
X1-58 Прибор для исследова- ния АЧХ	Рабочий диапазон Поддиапазон I Поддиапазон II Полоса качания Динамический диапазон воспроизведения	0,02...1000 кГц 0,02...100 кГц 2...1000 кГц 0,1...1000 кГц 90 дБ	$\pm (10^{-4} f_x + 0,02 \Delta f + 1 \text{ ед. сч.})$ $\pm 20$ Гц для частот, меньших 10 кГц $\pm 200$ Гц « 100 кГц $\pm 2000$ Гц — для остальных частот $\pm (0,25 + 0,064 A_x)$ при $A_x = 0...20$ дБ $\pm 1,5$ при $A_x = 20...72$ дБ $\pm 2,0$ при $A_x = 72...76$ дБ	СИ1, И5, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1
X5-29, X5-29/1; X5-29/2 Измерители коэффициен- та шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К В диапазоне 0,7...4,0 ГГц	$\pm 0,4$ дБ $\pm (0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
X5-30 Измеритель коэффициен- та шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи	0...30 дБ 0...60 дБ	$\pm (0,4...1)$ дБ $\pm (0,1...1)$ дБ	СИ1, СП1, И7, И4 ДМ1, СБ1

Х5-32 Измеритель коэффициента шума и шумовой температуры	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне 3,2...5,64 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-33 Измеритель коэффициента шума и шумовой температуры	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне 3,2...5,64 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-34 Измеритель коэффициента шума и шумовой температуры	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне 5,6...8,3 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-35 Измеритель коэффициента шума и шумовой температуры	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне 5,6...8,3 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-36 Измеритель коэффициента шума и шумовой температуры	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне 8,15...12,05 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-37 Измеритель коэффициента шума и шумовой температуры	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне 8,12...15,05 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
X5-38 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...600 К в диапазоне частот 0,02...1,25 ГГц	$\pm(0,4...1)$ дБ $\pm(0,1...1)$ дБ $\pm 26\%$	СИ, СП1, И7, П4, ДМ1, СВ1
X5-40 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...400 К в диапазоне 12,05...17,44 ГГц	$\pm(0,4...0,8)$ дБ $\pm(0,15...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ, СП1, И7, П4, ДМ1, СВ1
X5-41 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...400 К в диапазоне 17,44...25,96 ГГц	$\pm(0,7...1,0)$ дБ $\pm(0,15...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ, СП1, И7, П4, ДМ1, СВ1
X5-42 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...400 К в диапазоне 25,96...37,5 ГГц	$\pm(0,7...1,0)$ дБ $\pm(0,15...6,0)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ, СП1, И7, П4, ДМ1, СВ1
X5-43 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...400 К в диапазоне 12,05...17,44 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,15...6,0)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ, СП1, И7, П4, ДМ1, СВ1

Х5-44 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...400 К в диапазоне 17,44...25,96 ГГц	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,15...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ, СП, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-45 Измеритель коэффициента шума	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума	0...30 дБ 0...60 дБ 20...400 К в диапазоне 25,96...37,5 ГГц	$\pm(0,7...1,0)$ дБ $\pm(0,15...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ	СИ, СП, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-47 Измеритель шумовых параметров	ЭДС шума резисторов и диодов Шумовой ток лавинных фотодиодов ЭДС шума фотоприем- ных устройств	$1...10^5$ нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ $0,03...10^4$ пА/ $\sqrt{\text{Гц}}$ $1...10^5$ нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ Рабочие частоты 10, 20, 71, $10^3$ , $10^4$ , $10^5$ ГГц	$\pm 10\%$ $\pm 10\%$ $\pm 10\%$	СИ, СП, И7, П4, ДМ1, СБ1
Х5-46 Измеритель шумовых параметров	Коэффициент шума транзисторов и интег- ральных микросхем ЭДС шума транзис- торов и интегральных микросхем Шумовой ток биполяр- ных транзисторов и ин- тегральных микросхем с биполярными тран- зисторами на выходе	0...50 дБ $0,3...3 \cdot 10^4$ нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ $0,03...10^4$ пА/ $\sqrt{\text{Гц}}$ Рабочие частоты 10, 20, 71, $10^3$ , $10^4$ , $10^5$ ГГц		СИ, СП, И7, П4, ДМ1, СБ1
ХК5-48 Измеритель коэффициента шума и шумовых температур	Коэффициент шума Коэффициент передачи	$0...30$ дБ $10^{-2}...10^7$ Рабочие частоты 0,01... ...4,0 ГГц при измере- нии коэффициента шума	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ	СИ, СП, И7, П4, ДМ1, СБ1

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
ХК5-50 Измеритель коэффициента шума и шумовых температур	Коэффициент шума Коэффициент передачи	приемных устройств, 0,002...1,8 ГГц при измерении коэффициентов шума и передачи усилителей		
	Коэффициент шума Коэффициент передачи	0...30 дБ $10^{-2}...10^7$ Рабочие частоты 0,01...4,0 ГГц при измерении коэффициента шума приемных устройств, 0,002...1,8 ГГц при измерении коэффициентов шума и передачи усилителей	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
ХК5-49 Измеритель коэффициента шума и шумовых температур	Коэффициент шума Коэффициент передачи Температура шума генераторов шума ЭДС шума полевых транзисторов	0...30 дБ $10^{-2}...10^7$ 20...600 К 0,3...30 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ в диапазоне 0,01...4,0	$\pm(0,4...1,0)$ дБ $\pm(0,1...0,6)$ дБ $\pm 1,0$ дБ $\pm 1$ дБ	СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1
И1-17 Генератор испытательных импульсов	Длительность фронта Выброс на вершине Неравномерность вершины Максимальная амплитуда	8,5 нс 1...1,5% 0,5...1% 36,5 В		СП1, П2, ЗП1, СБ1, ДМ1

И1-18 Генератор испытательных импульсов	Длительность фронта Выброс на вершине Неравномерность вершины Максимальная амплитуда	0,85 нс 1...2% 0,5...1% 20 В		СП1, П2, ЗП1, СБ1, ДМ1
РУ2-11 Усилитель селективный	Широкополосное и избирательное усиление и фильтрация сигналов переменного тока	Диапазон усиливаемых частот: 1 Гц...200 кГц (режим ФВЧ) 0...99 кГц (режим ФНЧ) Диапазон перестройки частот среза: 1 Гц...99 кГц (режимы ФВЧ, ФНЧ) 10 Гц...99 кГц (режим ФП) Коэффициент усиления 0...20 дБ Крутизна спада частотной характеристики в режимах ФВЧ и ФНЧ $24 \pm 1,5$ дБ/окт. Ослабление сигнала в режиме ФП на частотах, отличающихся на октаву от частоты настройки $34 \pm 6$ дБ	Основная погрешность дискретной установки частоты среза или настройки, %: $\pm 8$ в диапазоне 1...9 Гц $\pm 5$ в диапазоне 10 Гц...9,9 кГц $\pm 7$ в диапазоне 10...99 кГц  Основная погрешность коэффициента усиления $\pm 0,05$ дБ Коэффициент гармоник при наибольшем выходном напряжении, не более, %: $0,1$ на частоте 1 кГц $0,2$ в диапазоне 20 Гц...20 кГц $0,5$ в диапазоне 20...200 кГц	П1, СП1, ДМ2, ЗП1
РУ4-29 Усилитель низкочастот-	Широкополосное и избирательное усиление и	Диапазон усиливаемых частот 1 Гц...200 кГц	Неравномерность частотной характеристики	П1, СП1 ДМ2,

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
ный	фильтрация сигналов переменного тока	Коэффициент усиления Выходное напряжение 10 В при токе нагрузки 3,5 мА Режимы ФВЧ и фильтр с характеристиками типа А и С (ГОСТ 17187-81)	–30...100 дБ ±0,5 дБ в диапазоне 1 Гц...200 кГц относительно частоты 1 кГц и ±0,3 дБ в диапазоне 20 Гц...20 кГц относительно частоты 1 кГц Основная погрешность ступени регулирования коэффициента усиления 10 дБ на частоте 1 кГц ±0,05 дБ Коэффициент гармоник при выходном напряжении 10 В, токе нагрузки 15 мА и коэффициенте усиления до 80 дБ, %, не более: 0,03 на частоте 1 кГц 0,1 в диапазоне 20 Гц...20 кГц 0,2 в диапазоне 20 кГц...200 кГц	ЗПИ
У7-5 Усилитель мощности	Усиление мощности сигналов постоянного и переменного тока	Диапазон усиливаемых частот 0...2 МГц Коэффициент усиления по напряжению 1, 2, 5, 10  Номинальная выходная мощность, Вт, на нагрузке 20 Ом: 20 на постоянном токе 10 в диапазоне 0...1 МГц 5 в диапазоне 1...	Основная погрешность коэффициента усиления на постоянном токе при номинальной нагрузке 20 Ом ± ±0,1% Неравномерность частотной характеристики, %: ±2 в диапазоне 0...100 кГц ±5 в диапазоне 100...200 кГц ±15 в диапазоне 200...1000 кГц ±30 в диапазоне 1000...2000 кГц Коэффициент гармоник при номинальной нагрузке и выходной мощ-	СП1, П1, ДМ2, СБ1, ЗПИ

		...2 МГц	ности, %: 0,1 в диапазоне 0...20 кГц 0,5 в диапазоне 20...100 кГц 2,0 в диапазоне 100...200 кГц 10,0 в диапазоне 200...2000 кГц	
Г2-59 Генератор шума низкочастотный	[Диапазон] [Максимальное выходное напряжение] До 600 кГц До 6,5 МГц	[2...6,5 МГц]  [3 В] [2 В]	Погрешность установки выходного напряжения $\pm 4\%$	СП1, П4, ДМ1, ЗП1, ДМ1, ЗП1
Г4-161 Генератор сигналов высокочастотный программируемый	[Синусоидальный сигнал с ИМ, свивированием по частоте]	$[4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}]$ в диапазоне [129,2...142,8 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки выходной частоты [1% (Г4-161)], [0,3% (Г4-161/1)]	СП1, П1
Г4-164 Генератор сигналов высокочастотный программируемый	[Синусоидальный сигнал с АМ, ЧМ, ИМ]	$[3 \cdot 10^{-8} \dots 2 \text{ В}]$ в диапазоне [0,1...640 МГц]	[1...3 дБ] Погрешность установки частоты $[5 \cdot 10^{-7}]$	СП1, П2, ДМ2
Г4-165 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с АМ, ЧМ, совместной АМ и ЧМ]	$[5 \cdot 10^{-8} \dots 2 \text{ В}]$ в диапазоне [0,14...130 МГц]	[0,5...2 дБ] Погрешность установки частоты $[10^{-6}]$	СИ1, СП1, И6, П4, ДМ2
Г4-174 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	$[10^{-15} \dots 10^{-3} \text{ Вт}]$ в диапазоне [17,44...25,95 ГГц]	[0,6...3,0 дБ] Погрешность установки частоты $[10^{-4}]$	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2
Г4-175 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	$[10^{-15} \dots 10^{-3} \text{ Вт}]$ в диапазоне [25,95...37,5 ГГц]	[0,6...3,0 дБ] Погрешность установки частоты $[10^{-4}]$	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2



Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
Г4-176 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с АМ, ЧМ, ТВ]	$[3 \cdot 10^{-8} \dots 2 \text{ В}]$ в диапазоне $[0,1 \dots 1020 \text{ МГц}]$	$[1 \dots 3 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[1,5 \cdot 10^{-7}]$	СП1, П2, ДМ2
Г4-177 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с ИМ]	$[10^{-14} \dots 10^{-4} \text{ Вт}]$ в диапазоне $[129,2 \dots 142,8 \text{ ГГц}]$	$[1,2 \dots 4,7 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[0,3\%]$	П1, СП1
Г4-178 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с ИМ]	$[5 \cdot 10^{-14} \dots 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}]$ в диапазоне $[37,5 \dots 53,57 \text{ ГГц}]$	$[0,8 \dots 3,1 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[0,3\%]$	П1, СП1
Г4-179 Генератор сигналов высокочастотный	[Синусоидальный сигнал с ИМ]	$[5 \cdot 10^{-14} \dots 5 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}]$ в диапазоне $[53,57 \dots 78,33 \text{ ГГц}]$	$[0,8 \dots 3,1 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[0,3\%]$	П1, СП1
Г4-180 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с АМ, ЧМ, ИМ]	$[3,16 \cdot 10^{-8} \dots 1 \text{ В}]$ в диапазоне $[0,1 \dots 1280 \text{ МГц}]$	$[1 \dots 3 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[5 \cdot 10^{-7}]$	СП1, П2, ДМ2
Г4-184 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с АМ, ЧМ]	$[10^{-7} \dots 2 \text{ В}]$ в диапазоне $[0,01 \dots 130 \text{ МГц}]$	$[0,5 \dots 2 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[5 \cdot 10^{-6}]$	СП1, П2, ДМ2
РГ4-17-01 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с АМ, ЧМ, ИМ]	$[3,16 \dots 2 \text{ В}]$ в диапазоне $[0,1 \dots 640 \text{ МГц}]$	$[1 \dots 3 \text{ дБ}]$ Погрешность установок частоты $[5 \cdot 10^{-7}]$	СП1, П2, ДМ2

РГ4-02 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[2 Вт] в диапазоне [0,01...50 МГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,1%]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-03 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИС, ЧМ]	[2 Вт] в диапазоне [50...300 МГц] [1 Вт] в диапазоне [300...1100 МГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,1%]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1,
РГ4-04 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[0,5 Вт] в диапазоне [1,1...2 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,5%]	СИ1, СП1, И6, П4, З1
РГ4-05 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[0,2 Вт] в диапазоне [2...3,2 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,5%]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-06 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[40 мВт] в диапазоне [3,2...5,6 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,5%]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-07 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[20 мВт] в диапазоне [5,6...8,15 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,5%]	СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ2,

Продолжение табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
РГ4-08 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[20 мВт] в диапазоне [8,15...12,05 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,5%]	СИ1, СП1, ИБ, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-09 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ИМ, ЧМ]	[10 мВт] в диапазоне [12,05...17,85 ГГц]	По уровню выходной мощности погрешность не нормируется Погрешность установки частоты [0,5%]	СИ1, СП1, ИБ, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-10 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ЧМ, ИМ]	[ $10^{-15}$ ... $10^{-2}$ Вт] в диапазоне [1,07...4,0 ГГц]	[0,8...3 дБ] Погрешность установки частоты [ $5 \cdot 10^{-7}$ ]	СИ1, СП1, ИБ, ПЗ, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-11 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ЧМ, ИМ]	[ $10^{-15}$ ... $10^{-2}$ Вт] в диапазоне [4,0...8,15 ГГц]	[1...3,2 дБ] Погрешность установки частоты [ $5 \cdot 10^{-7}$ ]	СИ1, СП1, ИБ, ПЗ, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1

РГ4-12 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ЧМ, ИМ]	$[10^{-15} \dots 10^{-3} \text{ Вт}]$ в диапазоне [8,15...12,05 ГГц]	[1,5...3,7 дБ] Погрешность установки частоты $[5 \cdot 10^{-7}]$	СИ1, СП1, ИБ, ПЗ, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
РГ4-13 Генератор сигналов	[Синусоидальный сигнал с ЧМ, ИМ]	$[10^{-15} \dots 10^{-3} \text{ Вт}]$ в диапазоне [12,05...17,85 ГГц]	[1,5...3,7 дБ] Погрешность установки частоты $[5 \cdot 10^{-7}]$	СИ1, СП1, ИБ, ПЗ, З1
Г5-79 Генератор импульсов	[Диапазон частот] серий импульсов заполнения серий [Длительность импульсов] на нагрузке 50 Ом 1 кОм [Максимальная амплитуда/нагрузка]	[0,01 Гц...1 МГц] [0,1 Гц...10 МГц]  [50 нс...999 мс] [100 нс...999 мс] [9,9 В/50 Ом] [99 В/1 кОм]	[3%] [3%]  [0,03τ + 10 нс] [0,03τ + 30 нс] [0,1А + 0,1 В] [0,1А + 0,1 В]	
Г5-80 Генератор многоканальный кодовых последовательностей	[Диапазон тактовых частот] [Число каналов] [Максимальная длина кодовой последовательности в одном канале]	[1 кГц...50 МГц] [16] [2048 бит]	$[10^{-3}]$	П, СП
Г5-82 Генератор импульсов	[Диапазон частот] [Длительность импульсов] [Максимальная амплитуда/нагрузка]	[0,01 Гц...1 МГц] [100 нс...5 с] [60 В/1 кОм]	[0,3%] [0,03τ + 40 нс] [0,1 А + 0,1 В]	
ГК5-83 Генератор	[Диапазон тактовых частот]	[50 кГц...50 МГц]	$[10^{-4}]$	П, СП, И, СИ,

Окончание табл. 3.1

Тип и наименование прибора	Измеряемая (воспроизводимая величина)	Диапазон измерения [воспроизведения]	Предел, основной погрешности измерения [воспроизведения]	Интерфейсные функции
1	2	3	4	5
ПСП-анализатор кодовых последовательностей	[Период ПСП]	$[2^N - 1, N = 7, 10, 15, 20, 23]$	$[(5 \cdot 10^{-6} \text{ для фиксированных частот})]$	3, СБ
Г5-86 Генератор импульсов	[Диапазон частот] [Длительность импульсов] [Максимальная амплитуда/нагрузка]	$[1 \text{ Гц} \dots 100 \text{ МГц}]$ $[5 \text{ нс} \dots 999 \text{ мс}]$ $[9,99 \text{ В}/50 \text{ Ом}]$	$[3\%]$ $[0,01\tau + 1 \text{ нс}]$ $[0,03 \text{ А} + 60 \text{ мВ } (\tau \geq 50 \text{ нс})]$ $[0,05 \text{ А} + 100 \text{ мВ } (20 \text{ нс} \leq \tau < 50 \text{ нс})]$ $[0,1 \text{ А} + 0,2 \text{ В } (\tau < 20 \text{ нс})]$	
Г5-89 Генератор импульсов	[Диапазон частот] [Длительность импульсов] [Максимальная амплитуда/нагрузка]	$[1 \text{ Гц} \dots 50 \text{ МГц}]$ $[10 \text{ нс} \dots 500 \text{ мс}]$ $[40 \text{ В}/50 \text{ Ом}]$	$[5\%]$ $[0,05\tau (\tau \geq 500 \text{ нс})]$ $[0,1\tau + 1 \text{ нс } (20 \text{ нс} \leq \tau < 500 \text{ нс})]$ $[0,1\tau + 3 \text{ нс } (\tau < 20 \text{ нс})]$ $[0; 1 \text{ А} + 0,1 \text{ В } (A \leq 20 \text{ В})]$ $[0,15 \text{ А} + 0,1 \text{ В } (A > 20 \text{ В})]$	
Г5-90 Генератор импульсов	[Диапазон частот] [Длительность импульсов] [Максимальная амплитуда/нагрузка]	$[0,1 \text{ Гц} \dots 50 \text{ МГц}]$ $[10 \text{ нс} \dots 10 \text{ с}]$ $[10 \text{ В}/50 \text{ Ом}]$	$[10^{-6}]$ $[10^{-6}\tau + 1 \text{ нс } (500 \text{ мкс} \dots 10 \text{ с})]$ $[10^{-4}\tau + 1 \text{ нс } (5 \dots 500 \text{ мкс})]$ $[10^{-3}\tau - 1 \text{ нс } (0,5 \dots 5 \text{ мкс})]$ $[10^{-2}\tau + 1 \text{ нс } (50 \dots 500 \text{ нс})]$ $[0,1\tau + 1 \text{ нс } (10 \dots 50 \text{ нс})]$ $[0,03 \text{ А} + 60 \text{ мВ}]$	И, СИ, П, СП, 3, ДМ
Г5-91 Генератор импульсов	[Тактовая частота] [Период ПСП] [Длина кодовой комбинации импульсов]	$[2 \dots 150 \text{ МГц}]$ $[2^N - 1, N = 15, 23]$ [15 и 16 бит]	$[(1,5 \dots 2) \cdot 10^{-5} \text{ (в дискретных точках)}]$	СП1, ПЗ, ДМ2

Г5-92 Генератор импульсов точной амплитуды	[Диапазон частот] [Длительность импульсов] [Максимальная амплитуда/нагрузка]	[0,1 Гц...10 МГц] [20 нс...50 мс] [50 В/50 Ом]	[3%] [0,03τ + 6 нс (τ ≥ 100 нс)] [0,01τ + 10 нс (τ < 100 нс)] [0,01 А + 100 мВ (А ≥ 5 В)] [0,02 А + 10 мВ (А < 5 В)]	И6, СИ1, П4, СП1, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1
Б5-68 Источник постоянного тока программируемый	[Напряжение постоянного тока] [Сила постоянного тока]	[0—10—50—100—300 В] [0—5—2—1—0,3 А]	[±0,6%] [±1,1%]	СИ1, И6, СП1, П4, ЗП1, СБ1, З1, ДМ1

Основу парка системных приборов составляют микропроцессорные СИ, выполненные с применением интегральных микросхем серий 580, 586, 588, 589, 1804, 1806, 1810, 1821, 1827 и однокристальных ЭВМ С5-21, С5-31. Более 80% типов СИ, приведенных в табл. 3.1,— это микропроцессорные приборы. Системные приборы позволяют решать измерительные задачи, встречающиеся в практике измерений в диапазоне частот до 178 ГГц.

Установки для поверки вольтметров (калибраторы напряжения) В1-18, В1-18А, В1-18/1, В1-18А/1, В1-27, В1-29, У358 обеспечивают поверку всех серийно выпускаемых цифровых и большей части электронных и щитовых вольтметров и амперметров. Все они (кроме У358) микропроцессорные приборы, широко применяемые в поверочных органах. Эти приборы совместно с В9-12 и Е1-14 являются агрегируемыми средствами при создании АИС для поверки вольтметров и амперметров.

Вольтметры постоянного напряжения представлены четырьмя моделями: В2-31, Ш1612, Ш1518, В2-38. Вольтметр В2-31 имеет интерфейс ЛКП (линия коллективного пользования) по ОСТ 4.27.005. Нановольтметр В2-38— микропроцессорный прибор, широко применяемый в биологии, медицине и производстве радиокомпонентов. Имеет режим самотестирования, облегчающий поиск неисправностей при настройке и ремонте.

Вольтметры переменного напряжения ВК3-61, ВК3-61А и В3-63 обеспечивают измерение в диапазоне 2 Гц...1500 МГц. Прибор ВК3-61 измеряет среднеквадратическое значение напряжения сигналов с коэффициентом амплитуды до 7. Вольтметр ВК3-63 заменяет диодный компенсационный вольтметр В3-49 и превосходит его по диапазону частот, производительности, надежности и функциональным возможностям. Прибор имеет встроенный микроконтроллер, который обеспечивает определение относительного отклонения (в процентах и децибелах) измеряемого напряжения от задаваемого уровня, автоматическую калибровку и установку нуля, самоконтроль работы прибора и диагностику работы его составных частей.

Вольтметр импульсного напряжения В4-24 заменяет весь парк вольтметров импульсного тока— В4-12, В4-13, В4-14, В4-17, В4-20 и преобразователь В9-5. В основу работы прибора положен стробоскопический метод измерения амплитудно-временных параметров импульсных сигналов. Прибор можно использовать не только как импульсный вольтметр, но и как широкополосный вольтметр импульсного тока, действующий АЦП и дискретизатор сигналов, а с применением внешнего дисплея— как широкополосный стробоскопический цифровой осциллограф. Кроме измерения напряжений прибор позволяет оценивать временные характеристики периодических сигналов, включая длительность, частоту, время нарастания и спада, неравномерность вершины импульсов. Встроенный микропроцессор управляет режимами работы, осуществляет самодиагностику прибора. Помимо абсолютных величин напряжение измеряется в процентах и децибелах относительно установленного уровня, результаты усредняются, определяются экстремальные значения.

Селективные микровольтметры В6-14, В6-15 заменяют соответственно приборы В6-9, В6-10. Кроме того, они обеспечивают цифровой отсчет частоты и относительного уровня сигналов. Управление и самодиагностику прибора осуществляет встроенный микропроцессор.

Цифровой универсальный вольтметр В7-34 (В7-34А) заменяет приборы В7-18 и В7-28. Он имеет интерфейс типа ЛКП. Микропроцессорные вольтметры В7-39, В7-46 содержат развитые системы самодиагностики неисправности прибора, математической и логической обработки результатов измерений по 16—20 программам (усреднение результатов, определение экстремальных значений и др.). В этих приборах сопряжение с КОП также осуществляет микропроцессор.

Вольтметр В7-40/1 предназначен для эксплуатации в жестких условиях с диапазоном рабочих температур  $-30...+50^{\circ}\text{C}$ .

Электронметрические приборы В7Э-42, В7-45 и В7-49 (заменяет усилитель У5-11) применяются в микроэлектронике, медицине, хромотографии, снабжены устройствами автоматического выбора поддиапазонов измерений, математической обработки результатов измерений сигналов по пяти программам, запоминания

100 измеренных значений за программируемый интервал времени, работают в режиме самотестирования. Приборы имеют аналоговый выход для подключения самописца или НЧ осциллографа.

Микропроцессорный вольтметр В7-43 характеризуется быстродействием 5000 изм./с, математической обработкой результатов измерений. Предусмотрена возможность программирования задержки измерений, интервала между измерениями, а также числа измерений на один импульс запуска. Функция частичной самодиагностики обеспечивает оперативную проверку работоспособности основных функциональных узлов с индикацией результата на цифровом табло.

Измерители иммитанса Е7-12, Е7-14, Е7-14/1 позволяют измерять параметры радиокомпонентов — резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, полупроводниковых структур и приборов. Четырехпарное включение исследуемых радиокомпонентов в измерительную цепь обеспечивает высокие метрологические характеристики приборов. Наличие режима низкого уровня сигнала позволяет использовать их для измерения параметров нелинейных объектов. Предусмотрена возможность подачи смещения по напряжению на измеряемый объект от внутреннего (до 40 В) и внешнего (до 200 В) источников. Приборы Е7-14, Е7-14/1 управляются микропроцессором, работают в режимах самодиагностики и усреднения результатов последовательных измерений для увеличения разрабатываемой способности; разбраковка компонентов по измеряемым параметрам может осуществляться в восьми допусковых зонах.

Приборы для поверки ваттметров М1-25, М1-25/1, М1-25/2 относятся к образцовым СИ первого разряда. Принцип действия основан на делении СВЧ сигнала на опорный и сигнальный. Первый автоматически замещается эквивалентной по тепловому воздействию мощностью постоянного тока, а второй поступает на выход преобразователя и является измерительным сигналом для поверяемых ваттметров или их приемных преобразователей. Встроенный микропроцессор обеспечивает автоматические установку нуля, калибровку и введение поправочных коэффициентов с передней панели, а также усреднение 10 или 100 измерений, самодиагностику, адаптацию к значению измеряемого сигнала.

Ваттметры средней мощности МК3-68, МК3-69 предназначены для измерений в коаксиальных трактах, а МК3-70, МК3-71 — в волноводных трактах. Приборы кроме средней импульсной мощности и энергии измеряют частоту повторения и длительность импульсов ИМ сигналов. В приборах обеспечиваются автоматические установка нуля, калибровка, выбор пределов измерений, диагностирование до уровня функциональных узлов. Работой ваттметра управляет микропроцессорное устройство.

Для измерения мощности в миллиметровом диапазоне длин волн используются микропроцессорные приборы М3-75, М3-75/1—М3-75/6, РМ3-1, РМ3-2.

Ваттметры для измерения малого уровня мощности РМ3-82—РМ3-87, М3-85/1, М3-90—М3-97 обеспечивают измерение мощности в коаксиальных и волноводных трактах. Они применяются также для измерения ослабления и потерь в трактах, плотности потока мощности, нестабильности выходного уровня мощности генераторов. В приборах с помощью микропроцессорного устройства обеспечиваются автоматические установка нуля, калибровка, выбор пределов измерений, введение поправочных коэффициентов, диагностирование до уровня функциональных узлов, обработка результатов измерений.

Измерители КСВН панорамные Р2-83—Р2-97 и Р2-125 содержат встроенный микропроцессор, который обеспечивает управление процессами измерений и обработку результатов измерений, автоматический выбор пределов измерений, диалоговый режим при калибровке и измерениях, автоматическое обнаружение ошибок и неверных действий оператора при измерениях, воспроизведение частотных характеристик, цифровой отсчет измеряемых характеристик и частоты. Приборы работают в двухканальном режиме — позволяют наблюдать на экране ЭЛТ характеристики КСВН и ослабления одновременно, запоминать характеристики на экране и сравнивать с текущей характеристикой. Сервисные подпрограммы самоконтроля, самодиагностики и автокомпенсации погрешностей гарантируют достоверность и высокую точность измерений.



Измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения РК4-45 — РК4-55, Р4-62, Р4-63 благодаря встроенному микропроцессору обеспечивают высокую степень автоматизации процессов измерений и обработки результатов измерений, самодиагностику, возможность одновременного наблюдения на экране ЭЛТ частотных характеристик коэффициента отражения и передачи, запоминание частотной характеристики образцового объекта и сравнение ее с характеристиками измеряемых объектов.

Квантовые водородные стандарты частоты и времени Ч1-75 и Ч1-76 — основа для метрологического обеспечения частотно-временных измерений, входят в состав эталона частоты и времени Ч0-101Б и образцовой меры частоты и времени Ч-80.

Электронно-счетные частотомеры Ч3-47А, Ч3-50, Ч3-61, Ч3-64, Ч3-65, Ч3-66, Ч3-71, РЧ3-72, РЧ3-73, РЧ3-07-0001 обеспечивают измерение частоты непрерывных синусоидальных и ИМ сигналов в диапазоне до 178,4 ГГц. Прибор Ч3-65 предназначен для прецизионных измерений частотно-временных параметров сигналов с разрешающей способностью 100 пс. Его принцип работы основан на интерполяционном измерении интервала времени с последующим вычислением измеряемой величины (частоты, периода, интервала). Прибор осуществляет автоматическую программируемую (с помощью клавиатуры) обработку результатов измерений в реальном времени. Быстродействие прибора 100 изм./с.

Синтезаторы частот Ч6-71, Ч6-72, РЧ6-01, РЧ6-02, РЧ6-03, РЧ6-04, РЧ6-05 и специально предназначенные для поверки систем связи Г7-1, Г7-2, Г7-2/1 отличаются высокими метрологическими характеристиками и обеспечивают необходимые для поверки радиоэлектронной аппаратуры виды модуляции — АМ, ЧМ, ФМ, ФТ, ЧТ, ФРМ и режим свип-генератора. Все приборы, кроме Ч6-71 и Ч6-72, выполнены с применением микропроцессоров.

Синхрометр Ч7-37 (заменяет Ч7-15), приемник-компаратор Ч7-38 (заменяет Ч7-9, Ч7-10) и компаратор частотный Ч7-39 используются в службе единого времени и при поверке, испытаниях и исследованиях кварцевых генераторов и квантовых стандартов частоты.

Измерители разности фаз и отношений напряжения ФК2-35 (заменяет Ф2-28 и Ф2-34) и ФК2-39 характеризуются широкими функциональными возможностями. Применяются при анализе и испытаниях преобразователей, фильтров, усилителей, трансформаторов, для определения последовательного резонанса кварцевых фильтров и резонаторов, выравнивания длин радиочастотных кабелей, измерения расстояний, направленности антенн и т. д. Процесс измерения у приборов полностью автоматизирован. Встроенный микропроцессор обеспечивает автоматизацию управления прибором, обработку результатов измерений и самодиагностику прибора.

Измерители неравномерности ГВЗ ФК4-17 — ФК4-20 содержат встроенный вычислитель, который позволяет измерять частотные характеристики устройств с учетом собственных неравномерностей комплекта и проводить настройку по эталонному образцу.

Приборы для измерения параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем Л2-68 — Л2-74, Л2-79, Л2-80 широко применяются при создании АИС для входного, выходного и технологического контроля. Измерители Л2-79, Л2-80 и Л2-81 имеют встроенный микропроцессор, который не только управляет работой прибора, но и обрабатывает результаты измерений и обеспечивает самодиагностику.

Аналоговые осциллографы С1-121, С1-122/8 и С1-129 содержат устройства адаптации к измеряемым сигналам, программного управления, запоминания и вызова до восьми состояний органов управления, программной и автоматической калибровки, самоконтроля работоспособности, маркерных измерений; С1-122 может работать как дисплей микроЭВМ.

Стробоскопические осциллографы С7-20, С7-21 (заменяют С7-16 и СК7-18) имеют модульное построение, что позволяет, заменяя блоки, создавать различные варианты приборов для решения конкретных измерительных задач. Приборы обеспечивают математическую обработку результатов измерений с выдачей данных на матричный индикатор или внешнее периферийное устройство, хранение в памяти до 16 сигналов, программирование с передней панели. Наиболее

широко используются в импульсной рефлектометрии и для метрологического обеспечения генераторов импульсов.

Цифровые осциллографы С9-5, С9-8, С9-10/1, С9-14, СК9-15, С9-17—С9-28 благодаря наличию в приборах цифровой памяти обеспечивают запоминание нескольких последовательностей сигналов с последующим вычислением и отображением на экране ЭЛТ в цифровой форме амплитудно-временных параметров сигналов. Управление осциллографами и обработка измерительной информации осуществляются контроллером, выполненным на основе микропроцессора. В приборах, как правило, предусмотрены режимы тестирования и самодиагностики.

Измерители СК2-24, СК3-45, СК3-45/1 выполнены с применением встроенной микроЭВМ, что обеспечивает автоматизацию процесса измерения и обработки результатов измерений. Приборы для оперативной автоматической калибровки СК3-45, СК3-45/1 имеют встроенный источник образцового сигнала.

В анализаторах спектра С4-82, СК4-83, СК4-84, С4-85, РСК4-86—РСК4-90, СК4-91—СК4-94 применение микропроцессоров позволило существенно улучшить параметры приборов. Микропроцессор управляет режимами работы, проведением измерений и вычислений, осуществляет коррекцию погрешностей измерений, калибровку, диагностику узлов и прибора в целом. Управление осуществляется вводом команд с передней панели или через КОП. Режимы работы приборов и обработанные результаты измерений индицируются на алфавитно-цифровом дисплее и выдаются в КОП.

У измерителя нелинейных искажений С6-12 все операции, связанные с выбором предела измерения, постоянных времени, необходимых фильтров, настройки на частоту, полностью автоматизированы. Микропроцессор управляет режимами работы, проведением измерений и вычислений, осуществляет коррекцию погрешностей, диагностику узлов и прибора в целом.

Программаторы ППЗУ 815, 833 широко используются при разработке и восстановлении СИ и вычислительной техники с микропроцессорным управлением. Информацию (запись алгоритмов управления, автокалибровки, самоконтроля и др.) вводят в запоминающее устройство прибора как вручную с передней панели, так и автоматически с перфоленты или с КОП. Программаторы широко используются для программирования микросхем КР556РТ1, КР556РТ5, КР556РТ7, К573РФ2 и др.

Приборы для измерения параметров оптических излучений—измеритель мощности ОМК3-79, измерители коэффициента ошибок 832, 832/1, 834, 836, источники оптических импульсов ОИ9-4, ОИ9-5 применяются для проверки параметров кабельных и световодных цифровых систем связи. Процесс измерения автоматизирован, приборы имеют встроенную микроЭВМ на базе серии 580.

Появившиеся в последнее десятилетие сигнатурные анализаторы и анализаторы логических состояний 837, ЦЗ-1, ЦЗ-1—приборы, без которых невозможно проверить работу логических узлов в реальном времени. Выполнены на основе микропроцессоров и имеют высокий уровень автоматизации измерений.

Поверочная установка К2С-57 обеспечивает проверку измерителей коэффициента гармоник и встроенных в них вольтметров. Установка К3-3 предназначена для генерирования и измерения сигналов при настройке и проверке групповых и линейных трактов систем связи, а также четырехполосников с сосредоточенными параметрами. Выполнена на базе микропроцессорного комплекта серии 580. Установка К68001 обеспечивает автоматизированную проверку счетчиков электрической энергии.

Приборы для наблюдения амплитудно-частотных характеристик Х1-54—Х1-56, Х1-58 содержат встроенный микропроцессор, который обеспечивает автоматизацию процесса измерений и обработки результатов измерений, автоматическую калибровку и коррекцию неравномерности собственной АЧХ, автоматическую установку диапазона частот, программную отстройку от шумов при работе на малых уровнях сигнала, ввод и хранение в памяти эталонной АЧХ и проведение относительно нее сравнительных измерений, наличие ряда сервисных функций. Диалоговый режим работы, наличие цифрового отсчета делает прибор удобным и простым в эксплуатации.

Измерители коэффициента шума Х5-29, Х5-30, Х5-32—Х5-38, Х5-40—Х5-47, ХК5-48—ХК5-50 предназначены для измерения коэффициента шума, ЭДС шума, шумовой температуры приемных устройств, СВЧ-усилителей, диодов, транзисторов и интегральных микросхем, резисторов и др. Встроенный микропроцессор обеспечивает самодиагностику, автоматическую калибровку встроенных аттенуаторов, автоматический выбор пределов измерения, измерение по точкам в панораме и автоматизирует многие другие операции процессов измерений и обработки их результатов.

Приборы для исследования вероятностных характеристик случайных процессов Х6-10, Х6-11 работают в режимах измерения, самоконтроля и самодиагностики. Работой прибора управляет микропроцессор индикаторного блока.

Измерители И1-17, И1-18 предназначены для работы в составе АИС для проверки осциллографов первого и второго классов точности по ГОСТ 22737—77 в полосе частот до 100 МГц. Приборы сконструированы на основе микропроцессора и позволяют измерять время нарастания, время установления, выброс на вершине, неравномерность и наклон вершины.

Усилители РУ-2-11, РУ4-29, У7-5 выполнены без применения микропроцессоров, но имеют высокую точность коэффициента усиления и возможность работы на емкостную нагрузку.

Генератор шума Г2-59 выдает шумовой сигнал с равномерным спектром, нормальным распределением мгновенных значений напряжения и регулируемым в широких пределах уровнем выхода. Используется при исследовании статистических процессов нелинейных искажений трактов, прохождении сложных сигналов, проверке различных устройств на помехоустойчивость, проведении статистически корреляционных и других видов измерений в акустике, гидроакустике, медицине и других областях.

Генераторы ВЧ и СВЧ сигналов с КОП охватывают диапазон до 142,7 ГГц. В генераторах миллиметрового диапазона длин волн, например Г4-178, Г4-129, предусмотрены полная автоматизация управления прибором, цифровой отсчет мощности, частоты и ослабления. Отвечающим современным требованиям следует считать Г4-176, предназначенный для проверки и настройки связной и телевизионной приемопередающей аппаратуры, работающей в режимах НК, АМ, ЧМ, TV. Встроенная микроЭВМ полностью автоматизирует процессы управления прибором и установки параметров, исключает установку запрещенных режимов, устанавливает отсчет параметров в требуемых единицах, хранит в памяти до 11 произвольных комбинаций основных параметров.

Достаточно широко представлены в таблице и генераторы импульсов. Часто применяемый в практике измерений генератор Г5-79 выполнен на основе микроЭВМ «Электроника С5-31», которая управляет прибором и проверяет вводимые параметры на корректность, обеспечивает автоматический набор параметров через КОП, автоматический перебор одного из параметров («электронный верньер»), а также возможность записи и хранения программ в течение 16 ч. Генератор Г5-91 предназначен для испытания цифровых систем передачи информации, устройств вычислительной и электронной техники, в нем реализованы перспективные коды (в том числе—5В6В). В приборе предусмотрена самодиагностика неисправностей. Для калибровки и проверки осциллографов, импульсных селекторов, дискриминаторов и другой импульсной аппаратуры применяется Г5-92. Встроенная микроЭВМ на базе микропроцессора 1806ВМ2 управляет прибором, обеспечивая режим «электронный верньер» и возможность записи десяти программ. Программно-аппаратурные встроенные средства диагностики позволяют осуществлять контроль работоспособности узлов генератора.

Для питания узлов и блоков аппаратуры, задания требуемых режимов испытаний в АИС применяется источник питания Б5-68, который обеспечивает защиту выхода прибора от перегрузки.

Перед тем как передать разработанный системный прибор в серийное производство, проводятся его государственные приемочные испытания, в процессе которых его проверяют на соответствие требованиям ГОСТ 26.003—80. В процессе этих испытаний определяются нарушения требований ГОСТ и даются рекомендации по их устранению. Ниже для примера приводятся результаты испытаний на соответствие требованиям ГОСТ 26.003—80 прибора Х1-58.

### 3.2. Приборы для воспроизведения постоянного и переменного напряжения (вида В1)

В настоящее время промышленностью выпускается ряд СИ для поверки вольтметров и калибраторов (В1-9, В1-15, В1-16, В1-18/1, В1-18А/1 и др.). Предпочтительными для применения в АИС, предназначенных для поверочно-аттестационных работ, являются В1-18/1, В1-18А/1, В1-27, В1-28 и В1-29.

**Приборы для поверки вольтметров и калибраторов В1-18/1, В1-18А/1.** Предназначены для поверки и метрологических исследований широкой номенклатуры приборов и устройств постоянного тока как в составе АИС, так и автономно. В них реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1. Приборы В1-18/1 и В1-18А/1 различаются между собой только нормируемой основной погрешностью и ее долговременной стабильностью.

Программирование приборов при их работе в составе АИС осуществляется передачей командных строк. Каждая строка состоит из последовательности идентификаторов режимов работы и числовых данных и заканчивается разделителем, в качестве которого по ГОСТ 13052—74 используются символы «,», «;», «PS», «KT» или низкий уровень линии КП при передаче последнего байта данных. Общее число символов в командной строке не должно превышать 32. Символы ПУС, «пробел» и ВК могут содержаться в строке в любом количестве.

Идентификаторы режимов работы приборов, в том числе и вида статистической обработки, передаются по КОП в буквенно-цифровом коде, а числовые данные—в десятичном формате, в виде целых чисел, чисел с плавающей и фиксированной запятой, формат представления числовых данных может быть следующим:

$V \pm \langle \text{целое число} \rangle \langle \text{разделитель} \rangle;$

$V \pm \left\langle \begin{array}{c} \text{целая часть} \\ \text{числа} \end{array} \right\rangle \left\langle \begin{array}{c} \text{дробная часть} \\ \text{числа} \end{array} \right\rangle \langle \text{разделитель} \rangle;$

$V \pm \langle \text{мантисса} \rangle E \pm \langle \text{порядок} \rangle \langle \text{разделитель} \rangle.$

Символ «V» в формате может отсутствовать, а порядок числа задается одной или двумя десятичными цифрами. При программировании приборов вводимые данные должны соответствовать их возможностям и согласовываться по смыслу с действиями, производимыми в приборах.

Выдача значения напряжения и приращения напряжения в вольтах осуществляется в следующих форматах:

а)  $\pm X.XXXXXXXXE \pm XX \langle \text{разделитель} \rangle;$

б)  $V \pm X.XXXXXXXXE \pm XX \langle \text{разделитель} \rangle,$

где X—десятичная цифра от 0 до 9; E—разделитель порядка.

Значения относительного приращения напряжения, кроме того, могут выдаваться в КОП в процентах:

а)  $\pm X.XXXXXXXXE \pm XX \langle \text{разделитель} \rangle;$

б)  $\% \pm X.XXXXXXXXE \pm XX \langle \text{разделитель} \rangle.$

Приборы могут передавать по КОП значение текущего момента или интервала времени в одном из двух форматов:

а)  $XX.XX \langle \text{разделитель} \rangle;$

б)  $ТХХ.XX \langle \text{разделитель} \rangle.$

Формат выдачи данных а) или б), а также тип разделителя задаются при программировании приборов. Данные о состоянии передней панели (шесть символов) представляются в 16-ричном коде и передаются тремя байтами.

Приборы выставляют сигнал «Запрос на обслуживание» в следующих ситуациях: неисправность прибора В1-18/1 (В1-18А/1); перегрузка прибора В1-18/1 (В1-18А/1) или В9-12; необходимо осуществить автокалибровку; неправильные программные данные; прибор занят.

Все перечисленные причины выставления прибором сигнала ЗО находят свое отражение в байте состояния и при необходимости могут быть замаскированы.

**Установка для проверки вольтметров (В1-27).** Предназначена для проверки вольтметров переменного тока в автономном режиме и в составе стационарных или транспортируемых систем проверки средств измерений. В установке реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

При работе в составе АИС осуществляется программирование режимов работы, а также передача значения одного или двух параметров: частоты в герцах (килогерцах), напряжения в вольтах (милливольтах). Формат данных при программировании:

⟨идентификатор режима⟩ ⟨идентификатор режима⟩ ⟨ВК⟩ ⟨ПС⟩;  
⟨индикатор программируемого параметра⟩ ⟨размерность⟩ ⟨значение параметра⟩ ⟨ВК⟩ ⟨ПС⟩.

Идентификаторы режима передаются в буквенно-цифровом коде, а идентификатор программируемого параметра и размерность — в буквенном.

Формат значения параметра может быть целочисленным, с фиксированной или плавающей запятой, значения параметров могут быть представлены в нормализованном или ненормализованном виде. При передаче информации установка выдает в КОП два параметра в следующей последовательности: напряжение в вольтах, частоту в герцах

UV XXXX.XXXXXXXXXX;  
FHZ XXXXXX.XXX ⟨ВК⟩ ⟨ПС⟩.

В режиме «погрешность» и ТПД дополнительно передается значение погрешности:

UV XXXX.XXXXXXXXXX;  
FHZ XXXXXX.XXX;  
Y % ± XX.XXX ⟨ВК⟩ ⟨ПС⟩.

В режиме «диагностирование» установка выдает значение времени установки выходного напряжения:

TS XX.XXX ⟨ВК⟩ ⟨ПС⟩.

Во всех форматах выдаваемых в КОП данных разряды, не несущие информации, заполняются нулями.

Установка выставляет сигнал «Запрос на обслуживание» по следующим причинам: обучение; перегрузка установки; установленное значение напряжения выходит за допустимые границы; сообщение, принятое из КОП, превышает 500 байт; неисправность установки; ошибка программирования. В случае отсутствия перечисленных причин соответствующие разряды байта состояния устанавливаются в нуль.

Установка обеспечивает следующие временные операционные характеристики: время выдачи информации в КОП не более 1 мс; время приема байта информации из КОП не более 1 мс.

**Калибратор-вольтметр универсальный В1-28.** Предназначен для проверки, калибровки широкой номенклатурной группы приборов и устройств и обеспечивает воспроизведение и измерение сопротивлений, напряжений, а также постоянного и переменного тока. Может работать как автономно, так и в составе АИС.

В калибраторе-вольтметре реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И1, ПЗ, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирова-

ния всех органов передней панели, кроме тумблера «сеть», в буквенно-цифровом коде:

$\langle \text{идентификатор} \rangle_{\text{режима}} \dots \langle \text{идентификатор} \rangle_{\text{режима}} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle$ .

В режиме воспроизведения сопротивлений в КОП выдается действительное (индицируемое) воспроизведенное сопротивление в омах.

В режиме измерения выдается результат измерения напряжения в вольтах, тока в миллиамперах или сопротивления в омах.

Формат выдаваемой информации:

$\pm X.XXXXXXE \pm XX \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle$ .

Прибор выдает в КОП сигнал «Запрос на обслуживание» по следующим причинам: конец воспроизведения; автокалибровка или тест прибора (прибор занят); неправильные программные данные; перегрузка прибора или нестабильность измеряемого параметра; неисправность. Все перечисленные причины выставления сигнала ЗО находят отражение в байте состояния.

Временные операционные характеристики работы калибратора-вольтметра в составе АИС определяются временем воспроизведения и измерения соответствующих физических величин.

**Калибратор переменного напряжения В1-29.** Предназначен для определения погрешности широкополосных вольтметров и измерителей уровня. Применяется в качестве многозначной меры напряжения для градуировки различных приборов. Пригоден для использования в составе транспортируемых систем поверки средств измерений.

В калибраторе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, ПЗ, 31, ДМ2, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирования параметров и режимов работы в следующих форматах:

$\langle \text{идентификатор} \rangle_{\text{параметра}} \langle \text{единица} \rangle_{\text{измерения}} \langle \text{значение} \rangle_{\text{параметра}} \langle \text{ПС} \rangle + \text{КП};$   
 $\langle \text{идентификатор} \rangle_{\text{режима}} \dots \langle \text{идентификатор} \rangle_{\text{режима}} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle + \text{КП}.$

Идентификатор параметра и единица измерения передаются в буквенном коде, а идентификатор режима — в буквенно-цифровом. Параметр должен представляться в виде числа с фиксированной запятой, причем положение десятичной точки не оговорено заранее, а зависит от значения параметра.

В режиме выдачи информации калибратор передает в КОП параметры в следующей последовательности: частоту в герцах (килогерцах, мегагерцах), напряжение в микровольтах (милливольтах, вольтах) или децибелах, емкость в микрофарадах, сопротивления нагрузки в килоомах.

Формат выдаваемой информации:

$\langle \text{идентификатор} \rangle_{\text{параметра}} \langle \text{единица} \rangle_{\text{измерения}} \langle \text{значение} \rangle_{\text{параметра}} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle + \text{КП}.$

Значение параметра при выдаче может состоять из четырех—шести цифр в зависимости от параметра.

Прибор выставляет сигнал «Запрос на обслуживание» по следующим причинам: установленное значение напряжения вышло за допустимые границы; установленное значение частоты вышло за допустимые границы; установленное значение допуска погрешности вышло за пределы; установленное значение емкости нагрузки вышло за пределы; установленное сопротивление нагрузки меньше 1 кОм; неправильные программные данные; неправильно установлены тумблеры ТПД и ТПМ; объем принятых по КОП данных превышает допустимый. Все перечисленные причины выставления сигнала ЗО находят свое отражение в байте состояния. Сигнал ЗО поддерживается прибором до следующей его адресации, после чего этот сигнал снимается.

Кнопка «печать» на передней панели прибора позволяет документировать результаты поверки рабочих СИ в режиме ТПД.

### 3.3. Приборы для измерения постоянного и переменного напряжения (В2, В3, В7)

**Нановольтметр цифровой постоянного тока В2-38.** Предназначен для измерения малых напряжений постоянного тока с возможностью повышенного разрешения при индикации результата ( $5^{1/2}$  разряда).

В приборе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1, и при работе в составе АИС нановольтметр имеет возможность программирования всех органов управления передней панели, кроме тумблера «сеть». Передача командной информации осуществляется в буквенно-цифровом коде. При этом последовательность идентификаторов режимов должна заканчиваться символом «Е»:

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{Е} \rangle.$$

Только после получения этого символа начинается выполнение всей программной строки и установка заданных режимов работы нановольтметра.

В приборе предусмотрено два режима выдачи данных. В первом данные выдаются сразу же после окончания процесса измерения, если прибор адресован на передачу. Если нановольтметр не адресован на передачу, то он ожидает адресации на передачу и только после этого выдает данные. Во втором, если прибор осуществил измерение, но не адресован на передачу, он выдает сигнал ЗО и ожидает его распознавания контроллером. Если прибор адресован на передачу, то информация выдается, как и в первом режиме. Выдача информации в КОП осуществляется в следующем режиме:

$$\pm \text{XXXXXXE} \pm \text{XX} \langle \text{ПС} \rangle.$$

Прибор выставляет сигнал «Запрос на обслуживание» по следующим причинам: прибор неработоспособен; неправильные программные данные; выдача данных с ЗО; перегрузка. Перечисленные причины выставления прибором сигнала ЗО могут быть идентифицированы по байту состояния.

В приборе предусмотрен принудительный переход управления с дистанционного на местное с помощью переключателя ВМ.

**Вольтметр цифровой широкополосный ВК3-61.** Предназначен для измерения постоянного, переменного и суммы постоянного и переменного напряжений сигналов произвольной формы по уровню среднеквадратического значения в линейном и логарифмическом масштабах. Используется как автономно, так и в составе АИС.

В вольтметре реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И7, П4, ДМ1, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирования через КОП всех органов управления, расположенных на передней панели, кроме тумблера «сеть». Режим работы прибора задается передачей по КОП буквенно-цифровой последовательности соответствующих идентификаторов режимов:

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{Е} \rangle.$$

Каждая такая последовательность обязательно должна заканчиваться символом конца программирования «Е».

Формат выдаваемой прибором в КОП информации имеет вид

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{символ} \\ \text{измеряемой} \\ \text{величины} \end{array} \right\rangle \left\langle \begin{array}{c} \text{режим} \\ \text{работы} \end{array} \right\rangle \pm \text{XXXXXXE} \pm \text{X}^* \langle \text{ПС} \rangle + \text{КП},$$

где  $\text{X}^*$  — цифра порядка, которая может изменяться от 1 до 9.

В качестве измеряемой физической величины может быть напряжение постоянного тока в вольтах, постоянного и переменного тока в вольтах и в децибелах, а также суммы постоянной и переменной составляющих напряжения

в вольтах и децибелах. Каждая из этих величин имеет свое символическое обозначение, передаваемое в первом байте результата измерения.

В поле режима работы может стоять знак, соответствующий перегрузке или нормальному режиму функционирования прибора.

**Вольтметр переменного тока ВЗ-63.** Предназначен для измерения среднеквадратического напряжения тока синусоидальной формы. Применяется как рабочее или образцовое средство измерения для поверки и градуировки электронных вольтметров, генераторов стандартных сигналов по уровню выходного напряжения. В вольтметре реализованы следующие интерфейсные функции: СИ1, СП1, И1, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

Программирование режимов работы прибора осуществляется передачей последовательности буквенно-цифровых кодов соответствующих режимов:

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$$

В режиме измерения абсолютного значения переменного напряжения вольтметр выдает в КОП результат измерения в следующем формате:

$$U \langle \text{пробел} \rangle \langle \text{размерность} \rangle O.XXXXXE \pm X \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle + \text{КП}.$$

Размерность измеренного значения — вольты или милливольты.

При измерении относительного значения переменного напряжения в процентах или децибелах формат выдаваемой в КОП информации имеет вид

$$DU \langle \text{пробел} \rangle \langle \text{размерность} \rangle O.XXXE \pm X \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle + \text{КП}.$$

Прибор выдает сигнал «Запрос на обслуживание» по следующим причинам: выход напряжения за максимальное значение; выход частоты за граничное значение; установленное число измерений превышает максимально возможное; запрос установки нуля; запрос калибровки; неверно установлены тумблеры ТПД и ТПМ; ошибка при диагностировании; ошибка программных данных; ошибка синхронизации; ошибка измерения; прибор занят. Перечисленные причины идентифицируются с помощью байта состояния. При отсутствии причин, вызывающих выставление сигнала ЗО, прибору соответствует нулевой байт состояния.

**Вольтметр универсальный цифровой В7-39.** Предназначен для измерения постоянного напряжения, среднеквадратического переменного напряжений произвольной формы, суммы постоянного и переменного напряжений, сопротивления постоянному току, отношения двух постоянных напряжений, отношения двух переменных напряжений, отношения переменного напряжения к постоянному.

В вольтметре реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, ОП1, СБ1, ЗП1 и программируются все органы управления, расположенные на передней панели, кроме тумблера «сеть», кнопки включения режима коррекции нуля на выбранном пределе измерений и выбранной функции, кнопки включения режима вычисления основной погрешности измерения в измеряемой точке и тумблера переключения входа вольтметра с двухпроводной схемы на четырехпроводную и наоборот.

Программирование режимов работы вольтметра осуществляется заданием буквенно-цифровой последовательности идентификаторов соответствующих режимов:

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{Е} \rangle.$$

Программная последовательность обязательно должна заканчиваться символом конца программы «Е».

Для ввода константы используется следующий формат:

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{константы} \end{array} \right\rangle \pm XXXXXXXX E.$$

Всего в прибор можно записать две константы. При передаче их через КОП идентификатор константы соответствует ее номеру.



Помимо буквенно-цифрового кодирования режимов работы вольтметра возможно двоичное кодирование. При этом программирование всех органов управления прибором осуществляется всего тремя байтами:

Д <первый байт> <второй байт> <третий байт> <Е>.

Символ «Д» является идентификатором двоичной программы. При переходе на буквенно-цифровое кодирование необходимо передать по КОП символ конца двоичной программы «'».

В вольтметре предусмотрена разнообразная математическая обработка результатов измерений по восьми программам: умножение и деление на константу, вычисление процентного отклонения от константы, статистическая обработка, отыскание экстремальных значений, измерение отношений двух напряжений и др. Необходимая процедура математической обработки результатов измерений может задаваться через КОП только буквенно-цифровым кодом.

Информация выдается в КОП в следующем формате:

$\left\langle \begin{array}{l} \text{измеряемая} \\ \text{функция} \end{array} \right\rangle \left\langle \begin{array}{l} \text{режим} \\ \text{работы} \end{array} \right\rangle \pm \text{XXXXXXXX} \pm \text{XX} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$

Поля «измеряемая функция» и «режим работы» в формате выдаваемых данных предназначены для соответствующих буквенных идентификаторов.

В режиме «тест» вольтметр выдает в КОП результат самоконтроля. При этом мантисса и порядок исправного вольтметра равны нулю. Мантисса неисправного вольтметра +9999999, а порядок показывает номер неисправности прибора.

В вольтметре предусмотрено два режима выдачи данных. В первом данные выдаются в КОП сразу же после окончания процесса измерения, а если включена математическая обработка, то после ее выполнения, если прибор уже адресован на передачу. В противном случае вольтметр ожидает адресации на передачу или перепрограммирование. Во втором режиме, если данные измерения готовы к выдаче, а вольтметр еще не адресован на передачу, он выдает сигнал ЗО. Если же прибор адресован на передачу, то данные выдаются так же, как и в первом режиме.

Сигнал «Запрос на обслуживание» выдается прибором по следующим причинам: тестовая проверка обнаружила неисправность прибора; неправильные программные данные.

В вольтметре предусмотрена возможность принудительного перехода на местное управление с помощью переключателя ДУ—РУ. Кроме того, имеется дополнительный переключатель КЧ, с помощью которого можно перевести вольтметр в режим с проверкой поступающей из КОП информации на четность и с дополнением до четности информации, выдаваемой в систему (за счет седьмого бита в байте данных).

**Вольтметр универсальный цифровой В7-40/1.** Предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного тока, силы постоянного и переменного тока, сопротивления постоянному току. Применяется для обеспечения измерений при настройке, проверке и эксплуатации различной радиоэлектронной аппаратуры.

В вольтметре реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И7, П4, ДМ2, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирования по КОП всех органов управления, расположенных на передней панели прибора, кроме переключателя «сеть».

Режим работы прибора задается передачей буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих режимов:

$\left\langle \begin{array}{l} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{l} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{Е} \rangle.$

Последовательность программных данных обязательно должна заканчиваться символом «Е».

Выдача прибором информации в КОП осуществляется в следующем формате:

$\langle \text{измеряемая функция} \rangle \langle \text{режим работы} \rangle \pm \text{XXXXXXE} \pm \text{X} \langle \text{ПС} \rangle.$

Измеряемая функция—идентификатор, соответствующий измерению постоянного или переменного напряжения, сопротивления или тока. Поле «режим работы» предназначено для подтверждения нормального режима работы прибора или сигнала перегрузки.

Отличительная особенность вольтметра В7-40/1 заключается в том, что в нем реализована функция источника И7, которая не позволяет прибору при работе в составе АИС формировать байт состояния и отвечать на последовательный опрос.

**Вольтметр универсальный цифровой быстродействующий В7-43.** Предназначен для измерения напряжения постоянного тока и среднеквадратического напряжения переменного тока произвольной формы в диапазоне инфранизких частот. Используется для измерения АЧХ и ПХ различных устройств (усилителей, фильтров, детекторов, термпар), исследования параметров сигнала специальной формы, контроля систем автоматического регулирования, измерения мгновенных значений сигнала с высокой скоростью съема информации.

В вольтметре реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1 и возможно программирование по КОП всех его органов управления, находящихся на передней панели, кроме тумблера «сеть» и кнопки перехода на местное управление.

Режим работы вольтметра по КОП задается передачей буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих режимов, заканчивающейся символом конца программирования «Е»:

$\langle \text{идентификатор} \rangle \dots \langle \text{идентификатор} \rangle \langle \text{Е} \rangle.$   
режима режима

Ввод величин задержки осуществляется в формате

$\langle \text{идентификатор} \rangle. \text{XXXXXXXX E}.$   
задержки

Идентификатор задержки показывает, которая из двух предусмотренных в вольтметре задержек вводится в текущем фрагменте программы.

Число измерений программируется по КОП в формате

N XXXXX E.

Константы могут быть как целыми, так и дробными, положительными и отрицательными, но не должны занимать более семи разрядов.

В вольтметре предусмотрена возможность программного задания вида математической обработки результатов измерений по восьми программам. При этом можно осуществить поиск минимального и максимального значений среди элементов массива из нескольких измерений, вычисление среднего группы измерений, смещения на константу, поиск среднеквадратического отклонения, усреднение за время, кратное периоду сети, и др.

Прибор выдает информацию в КОП в стандартном или упакованном формате. Вид формата задается тумблером управления форматом, находящимся на задней панели прибора, или программно через КОП.

Стандартный формат выдачи данных:

$\pm \text{XXXXXE} \pm \text{XX} \langle \text{разделитель} \rangle.$

В качестве разделителя используется символ «,» при необходимости разделить однотипные сообщения внутри блока данных и символ ПС с одновременной выдачей сигнала КП при разделении блоков данных.

При перегрузке данные выдаются следующим образом:

$\pm 99999 + 99 \langle \text{разделитель} \rangle.$

В случае упакованного формата измерительная информация выдается тремя байтами. Первый содержит идентификатор режима и предел измерения, знак и старший разряд результата. Кроме того, в первом байте информации предусмотрен бит для сигнализации о перегрузке прибора. Во втором и третьем байтах передаются по два следующих разряда результата измерения.



### 3.4. Стандарты частоты и времени (вида Ч1)

Стандарты частоты и времени — устройства, обеспечивающие формирование и воспроизведение физической единицы измерения времени и частоты. Приборы этого вида широко используются при разработке, производстве и эксплуатации аппаратуры систем связи с подавлением несущей и временным разделением каналов, при геодезических, радиоастрономических исследованиях, в радиолокации, радионавигации и радиоуправлении. В качестве источников высокостабильных сигналов для обеспечения измерений и работы в эталонных, образцовых и рабочих средствах измерения используются водородные стандарты частоты и времени Ч1-75, Ч1-76 как самостоятельно, так и в составе АИС. При этом через КОП можно управлять частотой синтезатора, проводить диагностику состояния стандарта.

Для работы стандартов частоты и времени в составе АИС в приборах Ч1-75, Ч1-76 реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И6, П4, З1, СБ1, ЗП1, а также предусмотрена возможность программирования следующих режимов работы: приема кода коррекции перестраиваемого синтезатора; вывода информации в режиме контроля и вывода диагностической информации.

Стандарты обеспечивают выдачу в КОП сигнала «Запрос на обслуживание» по следующим причинам: приход сигнала «Флаг» от перестраиваемого синтезатора; приход сигнала по линии запроса ЛДОЗ.

Диагностическая информация выдается в КОП в формате

<\*\*\*\*> <ПС> <ВК>.

Первые четыре байта содержат информацию о неисправных блоках приборов и видах неисправностей.

Состояние передачи устанавливается после выдачи контроллером команды МАИ. Анализ байта состояния происходит после выдачи команды ОПО. После передачи в КОП байта данных и приема его всеми активными приемниками интерфейс прибора вырабатывает сигнал «Сдвиг», подготавливая его к выдаче следующего байта данных. При этом в КОП выдается команда ПС, завершая процесс выдачи данных.

### 3.5. Электронно-счетные частотомеры (вида Ч3)

Электронно-счетные частотомеры — распространенные радиоизмерительные приборы. Среди обширной номенклатуры частотомеров четыре модели (Ч3-64, Ч3-65, Ч3-66 и Ч3-71) имеют выход на КОП в соответствии с ГОСТ 26.003-80.

В моделях Ч3-64, Ч3-66 и Ч3-71 реализован сходный набор интерфейсных функций: в Ч3-64 — СИ1, СП1, И5, П4, З1, СБ1, ЗП1, а в Ч3-66 и Ч3-71 — еще и ДМ2. В приборах Ч3-64, Ч3-66 и Ч3-71 предусмотрена возможность управления через КОП всеми органами передней панели, за исключением тумблера «сеть». Каждой кнопке передней панели приписывается свой 16-ричный код длиной до трех байт. Формат выводимых через КОП результатов измерений для этих частотомеров различный (рис. 3.1 и 3.2).

Во всех трех моделях реализована интерфейсная функция И5, что позволяет им работать в режиме последовательного опроса и выдавать в КОП байты состояния. Частотомер Ч3-64 выставляет сигнал «Запрос обслуживания» в трех случаях: при ошибке программирования через КОП; при отмене адресации прибора во время передачи им информации; при окончании измерений после дистанционного пуска. В Ч3-66 и Ч3-71 выставление сигнала ЗО осуществляется по причинам: готов результат измерения; ошибка синхронизации; синтаксическая ошибка; семантическая ошибка. Причина запроса конкретизируется в байте состояния. Все три реагируют на следующие универсальные и адресные команды: СБА, ЗАП, СБУ, ОПО, ЗПО, НПМ, НПД.

Сообщение	ЗД	ТД	ОД
Заголовок данных	F (частота)	Единица измерения	ГГц, МГц кГц, Гц
	T (период)	Единица измерения	мкс, нс, с
Тело данных	$\pm XX...X$		$E \pm XX$
Ограничитель данных	ПС		

Рис. 3.1. Формат данных, выдаваемых в КОП прибором ЧЗ-64

Примечания. 1 Для безразмерной величины (число импульсов) сообщение начинается со знака числа, т. е. отсутствует заголовок данных. 2 Число цифр в теле данных после десятичной точки до символа порядка E не более 18. 3 Максимальная длина сообщения 32 байта. 4 Кодирование по ГОСТ 13052—74.

Реализация интерфейсных функций в частотомере ЧЗ-65 несколько отличается от рассмотренных выше. В нем реализован набор СИ1, СП1, И1, П4, ЗП1, З1, ДМ2 и ОП2, который функционально шире используемого в ЧЗ-64, ЧЗ-66, ЧЗ-71. Так же как и в этих частотомерах, в ЧЗ-65 имеется возможность управления всеми органами передней панели. Коды программирования органов управления имеют длину 2 байта. Выдача информации осуществляется в формате, приведенном на рис. 3.3.

Прибор ЧЗ-65 выставляет сигнал «Запрос обслуживания» после окончания измерения, а также в случае, если прибор перешел в «ненормальное» состояние. Причина последнего в байте состояния не конкретизируется, указывается только сам факт ее наличия.

Рассмотренные электронно-счетные частотомеры обладают функционально полным набором программно-аппаратных средств связи с КОП и могут использоваться в АИС, построенных по приборно-модульному принципу. Во всех моделях реализуется режим работы «только передача», что позволяет использовать их в системах без контроллера при выводе информации на

Заголовок данных	F	Гц *
Тело данных	X...X	$E \pm XX$
Ограничитель данных	ВК (ПС)	

Рис. 3.2. Формат данных, выдаваемых в КОП прибором ЧЗ-66

Примечания. 1 В поле, обозначенном \*, может располагаться пробел, если значение измеряемой величины положительное, или знак минус, если значение отрицательное. 2 В поле тела данных, обозначенном X...X, могут располагаться до 11 символов цифр от 0 до 9. 3 Кодирование — по ГОСТ 13052—74

Тело данных	$\pm X...X$	$E \pm XX$
Ограничитель данных	ВК	ПС

Рис. 3.3. Формат данных, выдаваемых в КОП прибором ЧЗ-71

Примечания. 1. Заголовка данных как такового не существует. 2. В поле, обозначенном X...X, могут располагаться от 3 до 11 символов цифр от 0 до 9.

регистрирующее устройство, которое работает в режиме «только прием». К недостаткам указанных средств связи с КОП следует отнести малую информативность байтов состояния, в которых не конкретизируется характер ситуаций, возникающих в приборах.

### 3.6. Приемники сигналов эталонных частот и сигналов времени. Компараторы частотные и фазовые (приборы вида Ч7)

**Кварцевый синхронизатор Ч7-37.** Приемники сигналов эталонных частот и сигналов времени нашли широкое применение для синхронизации хода электронных часов в территориально разнесенных пунктах при навигационных, радиоастрономических, геодезических исследованиях. Эти приборы используются как автономно, так и в составе измерительных комплексов. Кварцевый синхронизатор Ч7-37 предназначен для формирования шкалы времени и определения с высокой точностью моментов совершения событий в реальном масштабе времени. Благодаря наличию интерфейсных функций И, СИ1 в соответствии с ГОСТ 26.003—80 прибор может использоваться в составе АИС. Синхронизатор обеспечивает выдачу в КОП значений текущего времени в часах, минутах и секундах в формате согласно табл. 3.2.

Работа синхронизатора в составе АИС возможна только в режиме передачи информации в КОП. За один сеанс передается единица информации. После окончания передачи последнего байта одновременно с положительным перепадом в линии КП интерфейс прибора переходит в режим ожидания. Для получения

Таблица 3.2

Формат и кодирование информации, выдаваемой КОП синхронизатором

Номер байта	Обозначение символа	Код на линиях данных							Наименование информации
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0	
1	Н	1	0	0	0	0	0	0	Десятки часов Единицы часов
2	Р	1	0	1	0	0	1	0	
3	Пробел	0	1	0	0	0	0	0	
4	0...2	0	1	1	*	*	*	*	
5	0...9	0	1	1	*	*	*	*	Десятки минут Единицы минут
6	Пробел	0	1	0	0	0	0	0	
7	0...5	0	1	1	*	*	*	*	
8	0...9	0	1	1	*	*	*	*	
9	Пробел	0	1	0	0	0	0	0	Десятки секунд Единицы секунд Конец передачи
10	0...5	0	1	1	*	*	*	*	
11	0...9	0	1	1	*	*	*	*	
13	ПС	0	0	0	1	0	1	0	

Таблица 3.3

**Формат и кодирование информации, выдаваемой в КОП приемником-компаратором**

Номер байта	Обозначение символа	Код на линии данных							Наименование информации
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0	
1	S	1	0	1	0	0	1	1	Единица измерения
2	!	0	1	0	0	0	0	1	Информация ложная
	Пробел	0	1	0	0	0	0	0	Информация истинная
3	.								
4	0...9	0	1	1	*	*	*	*	Цифровая информация о набеге фазы в секундах
5									
6									
7									
8									
9	E	1	0	0	0	1	0	1	Символ порядка
10	—	1	0	0	0	1	1	1	Знак порядка
11	6	0	1	1	0	1	1	0	$10^0$ S Порядок в
	7	0	1	1	0	1	1	1	$10^1$ S зависимости
	8	0	1	1	1	0	0	0	$10^2$ S от времени
									усреднения
12	ПС	0	0	0	1	0	1	0	Конец передачи

следующей единицы информации необходимо вновь адресовать синхрометр на передачу. Мгновенное значение времени, к которому относится передаваемая в КОП информация, определяется положительным перепадом на линии УП после передачи адреса синхрометра.

Связь контроллера с интерфейсом синхрометра фактически сводится к передаче сигнала УП и адреса прибора. Может также передаваться сигнал ОИ, переводящий КОП в режим ожидания, но он не является обязательным.

**Приемник-компаратор Ч7-38.** Для измерения нестабильности частоты и фазы источников сигналов, характеризующихся высокой стабильностью параметров, при разработке и производстве кварцевых и квантовых генераторов нашли широкое применение частотные приемники-компараторы. Совместно с цифровым частотомером, анализатором спектра и самопишущим микроамперметром приемник-компаратор позволяет измерять разность частот двух периодических сигналов, долговременную и кратковременную нестабильности и девиацию частоты. Для решения перечисленных задач используется приемник-компаратор Ч7-38, интерфейсные функции которого аналогичны тем, которые реализованы в приборе Ч7-37.

В отличие от кварцевого синхрометра приемник-компаратор выдает в КОП информацию о результатах измерения набега фазы исследуемого сигнала в секундах. Формат выдаваемой информации и используемые при этом коды приведены в табл. 3.3. Интерфейс прибора Ч7-38 также обеспечивает работу только в режиме передачи информации в КОП. Ввиду функциональных особенностей приемника-компаратора при обращении контроллера (адресации прибора на передачу) передается единица информации, и после передачи последнего байта (одновременно с положительным перепадом в линии КП) интерфейс переходит в режим «ожидание».

Заключение о ложности информации (передача символа «!») производится в том случае, когда не обновляется информация о набеге фазы в приборе в перерывах между обращениями контроллера к прибору, т. е. при возникновении неисправности прибора или перерывов в работе радиостанции на время, превышающее период опроса приемника-компаратора контроллером АИС.

При поступлении сигнала по линии ОИ интерфейс прибора переходит в режим «ожидание» на любом такте работы приемника-компаратора.

**Частотный компаратор Ч7-39.** Предназначен для измерения действительного значения, нестабильности частоты и спектральной плотности мощности фазовых шумов синусоидальных сигналов в частотном диапазоне 1...50 МГц. При работе в составе АИС обеспечивает интерфейсные функции СИ1, И, ЗО, а при работе с КОП—следующие режимы: измерение задержки входных сигналов; измерение относительного расхождения частот входных сигналов; формирование сигналов, пропорциональных разности фаз и флуктуациям фазы входных сигналов.

Прибор обеспечивает выдачу в КОП информации о результатах измерения интервала времени, пропорционального разности фаз исследуемого и образцового сигналов в секундах. Формат выдаваемой информации имеет вид

$\langle ! \rangle \langle S \rangle \langle ***** \rangle \langle . \rangle \langle *** \rangle \langle E \rangle \langle -12 \rangle \langle BK \rangle \langle PC \rangle$

Знак «!» передается в случае, если информация ложная; отсутствие знака (пробел) означает истинность информации.

Вместо символа \* передается десятичная цифра в соответствии с передаваемой информацией. Знак «.» (десятичная точка) может передаваться после шестого, седьмого или восьмого десятичных разрядов. При работе без усреднения знак «.» не передается. Формат выдаваемой последовательно по байтам информации и используемые для этого коды приведены в табл. 3.4.

Для идентификации компаратора используется последовательный опрос. Из группы универсальных команд интерфейс прибора реагирует на команды О, УП, ОПО, а из группы адресных команд—на команды СБА и ЗАП. По команде ОПО компаратор передает байт состояния в форматах

100\*\*\*\*—обслуживание запрошено

или 000\*\*\*\*—обслуживание не запрошено.

Таблица 3.4

**Формат и кодирование информации, выдаваемой в КОП частотным компаратором**

Номер байта	Обозначение символа	Код на линии данных							Наименование информации
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0	
1	!	0	1	0	0	0	0	1	Информация ложная
	или пробел	0	1	0	0	0	0	0	
2	S	1	0	1	0	0	1	1	Информация истинная
3									Единица измерения
4									
5	0...9	0	1	1	*	*	*	*	
6									
7									Цифровая информация об интервале времени в секундах
8									
9	,	0	1	0	1	1	0	1	Десятичная точка
10									
11	0...9	0	1	1	*	*	*	*	Цифровая информация об интервале времени
12									
13	E	1	0	0	0	1	0	1	
14	—	0	1	0	1	1	0	1	
15	1	0	1	1	0	0	0	1	Символ порядка
16	2	0	1	1	0	0	1	0	
17	BK	0	0	0	1	1	0	1	Порядок
18	PC	0	0	0	1	0	1	0	
									Возврат каретки
									Перевод строки



Как видно, информация в байте состояния содержится только в седьмом бите. Четыре младших бита могут быть произвольными.

По команде СБА снимается возбуждение с линии ЗО и интерфейсу запрещается выдавать сигнал «Запрос на обслуживание». Выход в линию ЗО интерфейсу компаратора разрешается по команде ЗАП.

Интерфейс компаратора обеспечивает работу только в режиме передачи информации в КОП. За один сеанс связи, как и в Ч7-37, Ч7-38, передается одна единица информации и после передачи последнего байта (одновременно с положительным перепадом в линии КП) интерфейс переходит в режим «ожидание». Таким образом, для получения следующей единицы информации необходимо вновь адресовать компаратор на передачу.

### 3.7. Измерители разности фаз (вида Ф2)

При исследовании четырех- и шестиполюсников (усилителей, фильтров, смесителей и т. д.), градуировке фазовращателей, снятии фазочастотных характеристик радиотехнических устройств возникает необходимость измерения фазовых сдвигов. Для решения этой задачи широко используются цифровые фазометры. Одним из таких приборов является измеритель разности фаз и отношения уровней ФК2-29.

При работе в составе АИС по командам, подаваемым по КОП, обеспечивается установка требуемой частоты и ослабления аттенюатора. Кроме того, предусмотрена возможность программирования любого режима работы фазометра. Информация в КОП выдается с микропроцессорного контроллера прибора. Кодирование команд осуществляется в соответствии с ГОСТ 13052—74.

При работе прибора в составе АИС внешний контроллер может устанавливать через КОП необходимые режимы работы, предварительно установив прибор в режим ДУ. Если режим ДУ не установлен, то прибор может только принимать и запоминать коды режимов, передаваемые через КОП, при управлении с передней панели. В режим, заданный контроллером АИС, фазометр переходит только при дистанционном управлении.

При работе прибора в составе АИС через КОП могут программироваться дополнительные функции, которые не управляются с передней панели прибора. Перечень дополнительных функций и коды управления приведены в табл. 3.5.

В конце передачи программной информации по КОП передаются коды ВК и ПС. Формат передаваемой информации имеет вид

$$\langle J * L * W * \rangle \langle \pm 000.0 \rangle \langle MKB \rangle \langle H * P * \rangle \langle \pm 000.0 \rangle \langle DEG \rangle, \\ \langle M * F * \rangle \langle BK \rangle \langle PS \rangle.$$

При работе в режиме передачи данных прибор вначале адресует на передачу данных, а по окончании цикла измерения в КОП выводится результат измерения. В зависимости от запрограммированного режима вывода (согласно табл. 3.5) возможны различные варианты вывода информации:

1) если условия вывода информации в КОП не запрограммированы или введены условия U0G0F0, то прибор работает совместно с печатающим устройством, входящим в состав АИС и установленным в режим ТПМ. Режимы ТПД и ТПМ не требуют наличия внешнего устройства управления и соответственно адресация устройств на прием и передачу. Выводимая информация в режиме ТПД имеет такой же вид, как при незапрограммированном выводе;

2) если запрограммирован параметр F1 (состояние передней панели не выводить), то коды, выводимые в КОП и соответствующие состоянию передней панели прибора, заменяются кодом символа пробела (□);

3) в случае, когда запрограммированы режимы U1 или G1, кодами символа пробела соответственно заменяется информация канала измерения амплитуды или фазы.

Для решения задач в области фазометрии используются также измерители разности фаз и отношения уровней ФК2-33, Ф2-34, ФК2-35. Фазометр Ф2-34

Таблица 3.5

**Перечень дополнительных функций фазометра и их коды  
программного управления**

Наименование	Код управления
<i>Функция управления</i>	
Цифровая индикация включена	A0
Цифровая индикация выключена	A1
Запуск внутренний	E0
Запуск внешний	E1
Запуск устройства	Z0
Данные канала об амплитуде выдать в КОП	U0
Данные канала об амплитуде не выдать в КОП	U1
Данные канала фазы выдать в КОП	G0
Данные канала фазы не выдать в КОП	G1
Состояние передней панели выдать в КОП	F0
Состояние передней панели не выдать в КОП	F1
<i>Программируемая кнопка</i>	
A	J0
B	J1
A/B	J2
B/A	J3
АБС (канал амплитуды)	W0
ОТН (канал амплитуды)	W1
ИНД (канал амплитуды)	W2
ЛИН	L0
ЛОГ	L1
АБС (канал фазы)	H0
ОТН (канал фазы)	H1
ИНД (канал фазы)	H2
-A	P0
+A	P1
ВВОД (канал амплитуды)	C0
ВВОД (канал фазы)	V0
КОНТРОЛЬ	K0
УЗКАЯ ПОЛОСА	B1
ШИРОКАЯ ПОЛОСА	B0

предназначен только для измерения разности фаз между двумя синхронными синусоидальными сигналами. При работе с КОП осуществляется управление основными режимами работы приборов, обеспечивается выбор диапазона частот, а также выдача в КОП информации о выбранном диапазоне и установленном режиме.

Измеритель фазовых сдвигов ФК2-33 отличается следующими особенностями: в КОП выводятся только результаты измерения, а данные о состоянии передней панели не передаются; формат выводимой в КОП информации имеет вид

$$\langle \pm 000.0 \rangle \langle \pm 000.0 \rangle \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$$

Вначале в КОП передается измеренное значение амплитуды, а затем — фазы. Положение десятичной точки определяется полученным значением. После выдачи в КОП информации по результатам измерений осуществляется передача кодов ВК и ПС, как и в приборе ФК2-29.

Измеритель разности фаз и отношения напряжений ФК2-35 предназначен для измерения разности фаз между двумя синусоидальными сигналами, а также

измерения частоты и отношения напряжений в автономном режиме и в составе АИС при работе через КОП в соответствии с ГОСТ 26.003—80. С этой целью в приборе реализован следующий набор интерфейсных функций: П4, И5, СП1, СИ1, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1. В приборе предусмотрена возможность программирования всех органов управления передней панели, за исключением тумблера «Сеть». Информация о результатах измерения, погрешности измеренных значений и сбоях в работе прибора выдается в КОП в соответствии с ГОСТ 13052—74. При возникновении неисправности прибора, неверном выборе режима работы, некорректном вводе информации, возникновении перегрузок в каналах, а также в ряде других случаев в КОП выдается сигнал «Запрос обслуживания» и байта состояния прибора.

### 3.8. Анализаторы спектра (вида С4)

Анализ спектральных характеристик сигналов, являясь наиболее информативным при проведении испытаний и исследований, позволяет получать информацию о качестве радиоустройств, линий связи, технологических процессов и т. д.

Анализатор спектра С4-82 предназначен для визуального наблюдения и измерения составляющих спектра периодически повторяющихся сигналов в диапазоне 300 Гц...1500 МГц. Работа прибора в составе АИС обеспечивается набором интерфейсных функций СИ1, СП2, И1, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1. При этом максимальная длина сообщения, выдаваемого в КОП, не должна превышать 600 байт.

Сигнал ЗО выдается в КОП по следующим причинам: ошибка программирования прибора через КОП; ошибка настройки; окончание измерения после дистанционного запуска; ошибка измерения.

Байт состояния, передаваемый по ЛД0—ЛД6, несет в себе следующую информацию:

- 0000000—прибор настроен, откалиброван и готов к работе;
- 0000001—ошибка в настройке;
- 0000010—ошибка измерения;
- 0000100—ошибка при калибровке;
- 0001000—синтаксическая или семантическая ошибка приема данных;
- 0010000—интерфейс занят;
- 0100000—ошибка контроля;
- 1000000—запрошено обслуживание.

Время программирования одной функции прибора составляет 10 мс, время выдачи сообщения объемом 520 байт не превышает 1 с, а байта состояния—менее 10 мс.

Анализаторы спектра СК4-83, СК4-84 предназначены для измерения параметров спектра стационарных электрических сигналов и уровней слабых сигналов в диапазонах 10 Гц...1 МГц и 30 Гц...110 МГц соответственно. При работе с внешним гетеродином приборы могут быть использованы для анализа узкополосных спектров в диапазоне до 300 МГц.

В СК4-83 и СК4-84 реализован следующий набор интерфейсных функций: СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1. При этом в КОП выдается информация о результатах измерений, диагностике состояния приборов и органов управления. Сигнал ЗО выдается в КОП в случаях отказа аналоговой части прибора, поступления неверной команды по КОП или передачи недопустимого значения параметра, а также при окончании измерения. Одновременно осуществляется выдача в КОП байта состояния. Скорость приема-передачи по КОП, обеспечиваемая анализаторами СК4-83 и СК4-84, составляет не менее 2 кбайт/с.

При измерении уровней и частот радиосигналов с большим динамическим диапазоном в широкой полосе частот, в том числе основных, внеполосных и побочных колебаний источников радиосигналов, при наблюдении и измерении формы спектра периодических широкополосных сигналов ВЧ и СВЧ нашли применение анализаторы спектра нового поколения РСК4-86, РСК4-87, РСК4-88,

РСК4-89, РСК4-90. Перечисленные анализаторы отличаются друг от друга диапазоном рабочих частот (25 МГц...1,5 ГГц; 1...4 ГГц; 4...8 ГГц; 8...17,44 ГГц и 1...17,44 ГГц соответственно), составом и некоторыми техническими характеристиками.

В указанных приборах, так же как в СК4-83 и СК4-84, в соответствии с ГОСТ 26.003—80 реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, 31, ДМ1, СБ1, ЗП1.

Для работы прибора РСК4-86 через КОП предназначена кнопка «ПУ мест» и дополнительные программные функции «индикация сообщения с КОП» (ДФ16) и «объем вывода» (ДФ23). Функция ДФ16 используется при отладке программы работы анализатора в составе АИС. Она позволяет выводить на экран прибора как передаваемые по КОП сообщения, так и информацию, выдаваемую прибором в КОП. При посылке на прибор сообщения в третьей строке экрана появляется символ «П» (прибор назначен на прием) и далее—принимаемое сообщение. Строка сообщения завершается символами «Х» (СВК) и «Δ» (ПС). При работе прибора в режиме «источник» на третью строку вместо «П» выводится символ «И» и далее—информация, передаваемая в КОП. Функция ДФ23 используется для предварительной установки объема информации, выводимой в КОП. Если ДФ23 не активирована, то информация в КОП не передается.

Для увеличения скорости обмена информацией через КОП полоса обзора анализатора устанавливается по возможности наименьшей.

Сигнал 30 выдается в КОП в следующих случаях: при наличии ошибок программирования, т. е. таких команд, которые прибор не может выполнить (наличие двух десятичных точек или пробела внутри числа, отсутствие цифры после десятичной точки, наличие разделителя или пробела после символа «Е» или знака порядка при передаче цифровой посылки в плавающем формате, отсутствие цифр после команд «запись» и «вызов», и др.); при сбое в работе прибора. Если при изменении какого-либо параметра по команде с КОП в анализаторе спектра автоматически изменяется другой параметр, то прибор не выставляет сигнал 30.

Режим работы (автономной либо в составе АИС) анализаторов спектра РСК4-87—РСК4-90 выбирается с помощью кнопки «ДУ/мест», если этот переход не заблокирован командой ЗПМ. Дополнительная программная функция «Информация КОП» (ДФ25) и ее использование аналогичны функции ДФ16 прибора РСК4-86. Выход из режима, установленного с помощью ДФ25, осуществляется кнопкой «сброс». Сигнал 30 выдается в КОП в тех же случаях, что и в РСК4-86.

Особенностью данных приборов является увеличение максимального числа символов в строке сообщений до 256 (по сравнению с  $N=80$  у анализаторов СК4-83, СК4-84, С4-85, РСК4-86). В качестве разделителей допустимо использование символов «,», «;» и « $\square$ » (пробел). Кроме того, допускается отсутствие каких-либо разделителей в строке сообщения. Объем выводимой в КОП информации определяется дополнительной функцией «объем вывода», ДФ24 (аналогично ДФ23 в РСК4-86).

Переключатель «ТПД» у анализаторов спектра РСК4-86—РСК4-90 позволяет включать режим выдачи данных в КОП, минуя устройство управления системой (контроллер). Интерфейсные функции анализаторов программируются следующим образом.

Интерфейсная функция «приемник» (П4)

100CMD

«?U!»

└ Назначение адреса приемника

└ Назначение адреса источника

Отмена функции приемника для всех приборов, подключенных к КОП

Команда посылки в КОП

20FORMAT B

└ Установка формата сообщения, передаваемого в КОП

300OUTPUT (2,20) «CF5k Gz»

Устанавливаемый параметр

Вывод с устройства № 2 в формате,  
описанном в 20-й строке программы

Интерфейсная функция «источник» (И5)

50ENTER (1,\*) A

Ввод в устройство № 1 данных в свободном формате

60DISP A

Индикация переменной

При программировании интерфейсных функций З1, ДМ1, СБ1, ЗП1 формат сообщения аналогичен формату OUTPUT. Отличие заключается в том, что вместо устанавливаемого параметра передается информация о соответствующем коде одной из команд: ОПО, ЗПО, ПНМ, НПМ, СБУ, СБА.

Программирование органов передней панели осуществляется с помощью формата

70OUTPUT (2,20) «BSIGZ» «NC310» «TS»:

Запуск свип-генератора

Установить маркер на адрес 310

Установить полосу обзора 1 Гц

Единичные сообщения, передаваемые в прибор по КОП, условно могут быть разделены на три вида, содержащие (табл. 3.6): 1) только двубуквенный идентификатор, включающий заданный режим работы прибора; 2) цифровые данные от одной до четырех цифр и двубуквенный идентификатор, включающий заданное значение какого-либо безразмерного параметра; 3) двубуквенный идентификатор, цифровые данные (заданное значение какого-либо параметра) и единицы измерения частоты, амплитуды или времени. Кодирование единиц измерения должно соответствовать табл. 3.6. Вывод информации по командам МА, МГ, ОА осуществляется всегда только в основных единицах.

Анализаторы спектра РСК4-86—РСК4-90 позволяют выводить в КОП следующие данные: результаты измерения из двух массивов памяти индикатора (А и Б); уровень и частоту сигнала, измеренного индицируемым маркером; разность уровней и частот, измеренных маркерами; содержимое зоны символьной информации и зоны листинга (как целиком, так и отдельные строки или группы символов); информацию о рабочем состоянии прибора; байт состояния прибора.

Если во время передачи информации в КОП поступает команда ЗАП, то прибор прекращает выдачу информации и продолжает передачу только после окончания цикла измерений. Если передача была прервана до получения подтверждения приема выставленного байта, то прибор (если он остался в состоянии «источник активен») возобновляет передачу с этого непринятого байта. Если же прерывание наступило после получения подтверждения приема выставленного байта, то передача возобновляется с очередного байта.

Анализаторы выдают в КОП сигнал ЗО в случаях аварийной ситуации (отказ) в приборе; требования установленного режима; неверного программирования с КОП; перегрузки индикатора; конца режима измерений. Одновременно с этим прибор формирует байт состояния, позволяющий при сообщении ОПО выявить причину, вызвавшую появление сигнала ЗО на выходе прибора. Байт состояния несет в себе следующую информацию:

0000001—прибор не калиброван;

0000010—неверная команда с КОП;

0000100—перегрузка индикатора;

0001000—конец режима измерений.

Таблица 3.6

**Программируемые единичные сообщения анализаторам спектра**

Идентификатор	Программируемая функция прибора	Максимальный формат	Вид
RL	Номинальный уровень	±XXX	3
CF	Центральная частота	XXXX, XXXXXX	3
SF	Шаг центральной частоты	XXXX, XXXXXX	3
SFBS	Установка шага полосы обзора		1
SFCF	Установка шага центральной частоты		1
SFRB	Установка шага полосы пропускания		1
SFMM	Установка шага частоты маркера		1
SFMD	Установка шага разности частот		1
BS	Полоса обзора	XXX	3
FN	Дополнительные функции	XX	2
FB	Полоса пропускания фильтра ПЧ	XXX	3
VB	Полоса пропускания видеофильтра	XXX	3
ST	Время развертки	XXX, XX	3
CL	Оперативная калибровка		1
AP	Установка согласованного режима		1
SV	Запись в регистры ДЗУ	X	2
RC	Установка режима работы	X	2
PR	Установка исходного режима работы		1
PL	Установка режима измерения импульсных сигналов	X	2
RB	Включение режима «комбин»	X	2
PH	Отмена режима «комбин»		1
TF	Синхронизация развертки внутренняя		1
TE	Синхронизация развертки внешняя		1
TL	Синхронизация развертки от сети		1
SR	Режим непрерывного запуска развертки		1
SS	Режим однократного запуска развертки		1
TU	Запуск развертки		1

Для обеспечения диагностирования анализаторов спектра внешними средствами предусмотрена возможность выдачи в КОП уточненных байтов состояния.

### **3.9. Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала (вида С9)**

**Осциллограф специальный С9-14.** Обеспечивает наблюдение и регистрацию периодических электрических сигналов, их математическую обработку и автоматическое измерение амплитудных и временных параметров. Применяется при разработке и наладке электронной аппаратуры, метрологической поверке радиоизмерительных приборов. В осциллографе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

При работе в составе АИС прибор программируется через КОП передачей буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих органов управления:

⟨идентификатор режима⟩ ... ⟨идентификатор режима⟩ ⟨ВК⟩ ⟨ПС⟩.

В осциллографе предусмотрена возможность программирования положения двух меток заданием до четырех десятичных цифр, образующих координату метки.

При выдаче результата измерения в КОП первым передается байт состояния, а затем — результат измерения в формате

$$\langle \text{измеряемая} \rangle \langle \text{идентификатор} \rangle \pm \text{XXXXXXXXE} \pm \text{XX} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle,$$

1

где идентификатор режима характеризует нормальный режим работы или индицирует перегрузку.

При программировании выдачи массива осциллограф выдает в КОП массив данных, состоящий из 1024 значений, характеризующих форму сигнала.

Все байты, выдаваемые осциллографом в КОП, дополняются до четного числа единиц, при этом по ЛД7 передается контрольный разряд по четности для обнаружения ошибок при передаче. Для осуществления контроля принимаемой информации включается тумблер контроля четности, расположенный на задней панели. В этом режиме принимаемые байты информации проверяются на четность и в случае обнаружения ошибки выдается сигнал ЗО. Кроме того, ЗО выдается в следующих случаях: готов результат измерения; нет калибровки при измерении напряжения или времени; заданный параметр не обнаружен; неправильные программные данные; ошибка внешнего устройства.

При работе в системе осциллограф обеспечивает следующие временные характеристики: время измерения 10...100 с, программирования  $n(2+T_1)$  мкс, выдачи байта состояния  $2+T_2$  мкс и выдачи информации  $17(2+T_2)$  мкс, где  $n$  — число передаваемых данных;  $T_1$  — время выдачи байта;  $T_2$  — время приема байта информации.

**Осциллограф автоматизированный С9-18.** Предназначен для исследования периодических электрических сигналов с помощью визуального наблюдения и автоматического измерения их амплитудных и временных параметров с представлением результатов измерений в цифровом виде на светодиодном табло. В осциллографе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

При работе в составе АИС прибор программируется передачей по КОП буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих режимов работы:

$$\langle \text{идентификатор} \rangle \dots \langle \text{идентификатор} \rangle \langle \text{Е} \rangle.$$

режима                      режима

Последним в программной строке должен стоять символ «Е», обозначающий окончание программирования.

В осциллографе предусмотрена возможность задания положения двух меток передачей по КОП идентификатора метки и значения ее положения.

Прибор обеспечивает адаптацию к исследуемому сигналу коэффициента отклонения по обоим каналам и коэффициента развертки с помощью вызова программы автопоиска. После выполнения этой программы повторное программирование режимов цифрового измерителя и диапазонов измерений не требуется, режимы работы цифрового измерителя сохраняются такими, какими они были до передачи команды на автокалибровку.

Выдача результатов измерения в КОП осуществляется осциллографом в формате

$$\langle \text{измеряемая} \rangle \langle \text{режим} \rangle \pm \text{XXXXE} \pm \text{XX} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle,$$

функция                      работы

где поле режима работы характеризует нормальный режим работы или индицирует перегрузку. При выдаче информации в КОП каждый байт дополняется до четности, при этом по ЛД7 передается контрольный разряд.

Предусмотрена возможность осуществления контроля на четность принимаемой из КОП информации и выставления ЗО в случае обнаружения ошибки. Для перехода в этот режим необходимо переключить соответствующий тумблер, расположенный на задней панели прибора. Кроме того, прибор выставляет сигнал ЗО в следующих случаях: ошибка при приеме; неправильные программные

данные; метка установлена за пределы экрана; неправильно задан номер теста; неправильно задан уровень синхронизации.

При работе в составе АИС осциллограф обеспечивает следующие временные операционные характеристики: максимальное время измерения амплитудных параметров 20 с и временных параметров 60 с.

**Осциллограф запоминающий С9-19.** Предназначен для исследования периодических сигналов в диапазоне частот до 100 МГц и однократных сигналов при максимальной частоте дискретизации 20 МГц. В приборе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И6, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

При работе в составе АИС предусмотрена возможность программирования режимов работы осциллографа передачей по КОП буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих режимов:

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle E \rangle.$$

Каждая строка программных данных должна заканчиваться символом «Е». Режимы и диапазоны измерения, не запрограммированные по КОП, управляются с передней панели.

При выдаче результатов измерения в КОП первым выдается байт состояния, а затем — результат измерения в формате

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{измеряемая} \\ \text{величина} \end{array} \right\rangle \left\langle \begin{array}{c} \text{номер} \\ \text{канала} \end{array} \right\rangle \pm XXXXE \pm XX \langle BK \rangle \langle PC \rangle.$$

При программировании выдачи массива осциллограф выдает в КОП массив данных, характеризующих форму сигнала.

В приборе осуществляется дополнение каждого байта выдаваемой в КОП информации до четности. Контрольный разряд передается по линии ЛД7. Кроме того, с помощью специального тумблера можно перевести осциллограф в режим контроля по четности принимаемой из системы информации с выдачей сигнала ЗО в случае обнаружения ошибки. Помимо указанной причины сигнал ЗО выдается в случаях готовности результата измерения и неправильных данных программирования.

При работе в составе АИС осциллограф обеспечивает следующие временные операционные характеристики: типовое время программирования  $n(2 \pm T_1)$ ; время выдачи результата измерения  $17(2 \pm T_2)$ ; время выдачи байта состояния  $2 + T_2$ , где  $n$  — число передаваемых байтов;  $T_1$  — время выдачи байта из прибора, мкс;  $T_2$  — время приема байта, мкс.

**Блок анализатора сигналов Я4С-122.** Блок совместно с базовыми блоками универсальных осциллографов (в составе осциллографа двухлучевого С1-115 и осциллографа универсального С1-122) предназначен для исследования формы периодических и однократных электрических сигналов с помощью визуального наблюдения сигналов, поступающих с входа или из памяти прибора, цифровой обработки формы регистрируемых сигналов и вычисления их параметров. В блоке реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, ПЗ, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

Программирование осуществляется передачей кодов наименований органов передней панели прибора в формате

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{наименование} \\ \text{органа} \\ \text{управления} \end{array} \right\rangle \langle BK \rangle \langle PC \rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{наименование} \\ \text{органа} \\ \text{управления} \end{array} \right\rangle \langle BK \rangle \langle PC \rangle.$$

Для передачи числовых значений используется формат

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{наименование} \\ \text{органа} \\ \text{управления} \end{array} \right\rangle, \langle \text{значение} \rangle \langle BK \rangle \langle PC \rangle,$$



где «значение» — число (целое или с плавающей запятой) или буквенно-цифровая информация (число с размерностью). Помимо программирования органов управления, расположенных на передней панели, имеется возможность изменения через КОП содержимого регистра данных, задания формата выдачи данных, установки режима приема или передачи массива информации, состоящего из 1024 значений и характеризующего форму сигнала.

Выдача информации в КОП осуществляется по соответствующему запросу, поступающему от контроллера системы в формате

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{наименование} \\ \text{необходимой} \\ \text{информации} \end{array} \right\rangle ? \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$$

Получив такой запрос, блок выдает в КОП требуемую информацию в формате

$$\langle \text{значение} \rangle \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$$

Сигнал ЗО блок анализатора выдает в случаях неисправного состояния, неправильных программных данных и занятости выполнением команды.

### 3.10. Анализаторы сигнатурные (вида ЦЗ)

**Мультиметр сигнатурный 837.** Предназначен для диагностирования цифровой (в том числе и микропроцессорной), аналого-цифровой и аналоговой радиоэлектронной аппаратуры на уровне компонента. В мультиметре реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирования режимов работы прибора передач по КОП буквенно-цифровой последовательности в формате

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \dots \left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{ПС} \rangle + \text{НПМ}.$$

Последовательность программных данных обязательно должна заканчиваться командой НПМ. Только после получения этой команды производится установка режимов работы прибора в соответствии с принятой программой.

Числовые значения параметров передаются в формате

$$\left\langle \begin{array}{c} \text{идентификатор} \\ \text{режима} \end{array} \right\rangle \langle \text{число} \rangle.$$

При этом число представляется в формате с фиксированной точкой и содержит три или четыре цифры. Перед числом может стоять его знак или пробел.

Выдача результатов измерения в КОП в режиме сигнатурного анализа осуществляется прибором в формате

$$\text{NNNN} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle,$$

где N — любое целое число от 0 до 9 или буква A, C, F, H, P, U. Во всех остальных режимах результаты измерений выдаются в формате

$$\pm .\text{XXXXXXE} \pm \text{XX} \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$$

В случае выхода измеряемой величины за пределы измерения в КОП выдается следующий результат:

$$+.99999\text{E} + \langle \text{число} \rangle \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle,$$

где число, обозначающее порядок передаваемой величины, имеет строго фиксированное значение, определяемое режимом работы мультиметра.

После программирования и передачи команды НПМ мультиметр начинает непрерывно производить измерения. После осуществления каждого измерения

выставляется сигнал 30. При получении команды МАИ результаты измерений последовательно выдаются в КОП.

Для обеспечения однократного измерения необходимо подать команду ЗАП, при этом после окончания очередного измерения и установки сигнала 30 дальнейшие измерения прекращаются. Возврат прибора в режим многократных измерений осуществляется только после выдачи полученного результата или при поступлении команд СБУ, СБА.

Кнопка «Запуск» на передней панели мультиметра, работающая как в местном, так и в дистанционном режиме, выполняет функции, аналогичные команде ЗАП. При необходимости кнопка может быть заблокирована командой контроллера системы. В режиме ТПД измерения производятся непрерывно, но каждый очередной их результат выдается в КОП только при нажатии кнопки «Запуск». При получении по КОП запроса положения органов управления мультиметр выдает коды их состояний в том же формате, что и при программировании прибора.

Сигнал 30 выставляется мультиметром в следующих ситуациях: неисправность прибора; установлено исходное состояние; данные готовы в режиме однократных измерений; данные готовы в режиме многократных измерений; сбой во время измерения; неправильные программные данные; попытка программирования в местном режиме; прибор занят выполнением предыдущей команды.

Идентификация причины выставления прибором сигнала 30 осуществляется с помощью байта состояния. Предусмотрена возможность маскирования всех перечисленных причин выставления сигнала 30, кроме первой.

При работе в составе АИС мультиметр обеспечивает следующие временные операционные характеристики: время приема и передачи данных по КОП—не более 1 мс; время выполнения команды ЗАП—не более  $T_{изм} + 150$  мс (где  $T_{изм}$ —время измерения в установленном режиме); время выполнения команд СБУ и СБА—не более 25 мс.

**Анализатор сигнатурный ЦЗ-1.** Предназначен для диагностирования цифровых и микропроцессорных устройств и приборов на уровне компонента в условиях разработки, производства и эксплуатации. В анализаторе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, ОП1, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирования всех режимов работы прибора передачей по КОП буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих режимов:

$\langle \text{идентификатор} \rangle \dots \langle \text{идентификатор} \rangle \langle \text{ПС} \rangle$   
режима режима

Выдача в КОП результата измерения сигнатуры осуществляется в формате

NNNNS  $\langle \text{ПС} \rangle$ ,

где N—цифра от 0 до 9 или буква А, С, F, H, P, U в режиме сигнатурного анализа или А, В, С, D, E, F—в режиме логического анализа; символ S принимает значение 1 или 0, в зависимости от того, является ли передаваемый результат стабильным.

Из памяти анализатора сигнатуры выдаются в формате

NNNN  $\langle \text{ПС} \rangle$ .

Другая информация, такая как код ошибки, номер последней запомненной сигнатуры, тип подключенных пробников, выдается в КОП в формате

$\langle \text{число} \rangle \langle \text{ПС} \rangle$ ,

где число состоит из двух или трех цифр, в зависимости от типа требуемых данных.

Состояние органов управления сигнатурного анализатора выдается в КОП в том же формате, что и при программировании прибора. Сигнал 30 выставляется по следующим причинам: неисправность прибора; закончен процесс самотестирования; неправильные программные данные; был запрос данных; готовы данные;

некорректные действия оператора. Причина, вызвавшая сигнал ЗО, идентифицируется с помощью байта состояния. При необходимости все причины выставления ЗО, кроме первых двух, могут быть замаскированы.

При работе в составе АИС анализатор обеспечивает следующие временные операционные характеристики: время приема и передачи данных в КОП—не более 1 мс; время исполнения команды ЗАП—не более  $T_{\text{изм}} + 5$  мс, где  $T_{\text{изм}}$ —время измерения в установленном режиме.

### 3.11. Ваттметры поглощаемой мощности (вида МЗ)

Из обширного семейства ваттметров поглощаемой мощности интерфейсные функции реализованы в моделях МЗ-75/1, МЗ-90—МЗ-92, МКЗ-68—МКЗ-71. Наиболее просто интерфейсные функции реализуются в приборах МКЗ-68—МКЗ-71. В технической документации на эти приборы не конкретизируется набор функций по ГОСТ 26.003—80, но исходя из анализа особенностей функционирования можно заключить, что реализованы с некоторыми отклонениями функции СИ1, СП1 и И4. Приборы осуществляют лишь асинхронную передачу в КОП результатов измерений в коде КОИ7, причем измеренная информация обновляется с периодом, равным 1 с. Информация выдается в КОП в формате; заголовок данных—число данных—ограничитель данных

$\langle \text{PK} \rangle + \text{X.XXE} + \text{XX} \langle \text{BK} \rangle$ .

Одновременно с символом «возврат каретки» на ЛД0—ЛД7 на короткое время выдается сигнал «конец передачи». Символами X обозначены десятичные цифры от 0 до 9. Программирование приборов через КОП не производится, режим выдачи в КОП сигнала ЗО и байтов состояния также не реализован. Исходя из приведенных данных можно заключить, что приборы МКЗ-68—МКЗ-71 могут применяться в АИС очень ограниченно, при условии учета всех особенностей этих ваттметров.

В ваттметрах МЗ-75/1 и МЗ-90—МЗ-92 набор интерфейсных функций и возможностей работы в КОП более широк. В МЗ-75/1 реализованы функции И1, П4, СИ1, СП1, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1. Прибор работает в режиме «только передача» и воспринимает интерфейсные команды МАП, МАИ, СБА, ОПО, ЗПО, НПД и НПМ. Кроме того, прибор может принимать от контроллера программирующую информацию и осуществлять установку нуля, калибровку, тестирование, измерения с многократным запуском или асинхронные измерения.

Результаты измерения выдаются в КОП в коде по ГОСТ 13052—74 в формате

$\langle \text{P} \rangle \pm \text{XXXXE} - \text{XX} \langle \text{BK} \text{ ПС} \rangle$ .

Символ «X» обозначает десятичную цифру от 0 до 9; знак «+»—передается пробел, знак «-»—передается код знака «минус». В ваттметре реализован также режим выставления запроса на обслуживание по двум причинам: в случае ненормального окончания режимов установки нуля, калибровки или тестирования и в случае, если прибор не готов к выдаче данных. Причина выдачи сигнала ЗО конкретизируется в байте состояния.

В ваттметрах МЗ-90—МЗ-92 используется почти тот же набор интерфейсных функций, что и в МЗ-75/1, за исключением И, ДМ и СБ (применены модификации И5 и ДМ2, СБ2), но с точки зрения реализованных возможностей работы в КОП—программирования, выдачи результатов измерений в КОП, выдачи информации о состоянии приборов—они более универсальны. Наряду с программированием режимов, используемых в МЗ-75/1, имеются дополнительные возможности программирования: выдачи информации в линейном или логарифмическом масштабе; установки нужного предела измерения; установки нужного коэффициента поправки; выдачи в КОП информации о режиме работы ваттметра. Через КОП может программироваться также режим разрешения или запрещения выставления запроса на обслуживание по следующим причинам: запуск устройства; по всем причинам; по всем причинам, кроме аварийных.

Прием информации в приборы М3-90—М3-92 осуществляется в формате «код программирования—данные программирования—ограничитель данных». Код программирования представляет собой две 16-ричные цифры и определяет то действие, которое должен осуществить прибор. Данные программирования могут представлять собой либо число с плавающей точкой в формате  $+ .XE \pm XX$ , где X—цифра от 0 до 9 в случае, если программируется установка нужного коэффициента поправки, либо цифру от 1 до 4, если программируется установка соответствующего предела измерений (при передаче вместо цифр кода буквы А программируется переход на автоматический выбор пределов измерений), либо отсутствовать—при программировании всех остальных функций.

Выдача информации в КОП о результатах измерения мощности производится в формате

$\langle 57H \rangle \pm X.XXXE \pm XX \langle \text{ПС и КП} \rangle$ .

Выдача информации о режимах работы ваттметров осуществляется в формате «заголовок данных—ограничитель данных» для режимов работы:

самодиагностика	
$\langle S4H \rangle$	$\langle \text{ПС и КП} \rangle$ ,
коррекция нуля	
$\langle SAH \rangle$	$\langle \text{ПС и КП} \rangle$ ,
калибровка	
$\langle 43H \rangle$	$\langle \text{ПС и КП} \rangle$ ,
измерение	
$\langle 58H \rangle$	$\langle \text{ПС и КП} \rangle$ .

Ваттметры способны выдавать в КОП обширную информацию состояния. Сигнал ЗО может выставляться по 23 причинам, конкретизируемым в байте состояния, которые можно разделить на следующие основные группы: запуск и готовность к работе; обнаружение неисправности при самодиагностике (с конкретизацией причины до функционального блока); неправильное программирование устройства; невозможность проведения коррекции нуля или калибровки; окончание коррекции нуля, калибровки и самодиагностики.

### 3.12. Приборы для измерения параметров трактов с распределенными постоянными (подгруппа Р)

Для измерения параметров элементов и трактов распределенными постоянными используются: измерительные линии (вид Р1), измерители модуля коэффициентов отражения и передачи (вид Р2), измерители комплексных коэффициентов отражения и передачи (вид Р4). Исходя из особенностей конструкции приборы вида Р1 не могут использоваться в АИС. Во всех разработках приборов Р2 и Р4, завершенных за последние годы, реализованы интерфейсные функции в соответствии с ГОСТ 26.003—80.

**Измерители модуля коэффициентов передачи и отражения (вида Р2).** Из приборов вида Р2 выход КОП имеют модели Р2-83, Р2-86, Р2-98—Р2-109, Р2-111—Р2-117. Приборы этой подгруппы содержат два основных блока: индикатор и генератор качающейся частоты, что дает возможность разработчикам реализовать интерфейсные функции по двум основным концепциям.

В первом случае имеет место автономное функционирование индикаторного и генераторного блоков прибора, они являются самостоятельными приборами, поэтому при работе в КОП должны иметь различные адреса и управляться раздельно. По этому принципу построены приборы Р2-98—Р2-109, Р2-111—Р2-117. Связь между блоками осуществляется для поддержания постоянного уровня мощности на выходе генератора системой автоматического регулирования мощности (АРМ) индикаторного блока и для синхронизации выдачи информации на осциллографическую трубку индикаторного блока генератором. Применение данного принципа построения измерителей позволяет использовать один блок

Таблица 3.7

## Программирование режимов ГКЧ по КОП

Заголовок данных	Тело данных	Ограничитель данных	Примечание
F	N	ПС	Задание частоты
P	1	ПС	Включение СВЧ
P	0	ПС	Выключение СВЧ

индикатора — Я2Р-70. Для реализации интерфейсных функций в комплект блока отдельным узлом входит интерфейс КОП, обеспечивающий функции И4, СП1, СИ1.

Блок интерфейса КОП не передает в индикаторный блок никаких управляющих или информационных сигналов, а только получает результаты текущих измерений поочередно из первого и второго каналов прибора. В состав блока интерфейса КОП входит схема опознавания адреса, которая при истинном состоянии линии УП сравнивает код на линиях данных с кодом, установленным адресными переключателями блока интерфейса. При совпадении кодов блок переходит в состояние «передатчик адресован». При переходе линии УП в ложное состояние формируется состояние «передатчик активен», и блок интерфейса КОП приступает к выводу информации. Блок интерфейса КОП формирует для выдачи в КОП данные в виде девяти байтовых последовательностей, где первые четыре байта представляют собой информацию о результатах измерения в канале 1, затем следуют ограничитель данных «,» и четыре байта информации о результатах измерения в канале 2. Параллельно с выставлением на ЛД последнего байта передается сигнал «конец передачи».

Для индикаторного блока Я2Р-70 нормируется максимальное время подготовки и выдачи формата данных в КОП (не более 2 мс), что имеет важное значение при монопольном режиме работы измерителей КСВН и ослабления, построенных с использованием блока Я2Р-70 с контроллером КОП.

В состав каждого из измерителей Р2-98-Р2-109; Р2-111—Р2-117 входит один из четырех блоков генераторов качающейся частоты (ГКЧ) Я2Р-74, Я2Р-75, Я2Р-76, Я2Р-77, которые, по существу, являются самостоятельными приборами, имеющими свои интерфейсные функции СП1 и П2. Предусмотрена возможность программирования через КОП двух режимов: задания определенной частоты генерации, включения или выключения СВЧ мощности на выходе ГКЧ. Для задания этих режимов необходимо через КОП передать сообщения, приведенные в табл. 3.7.

Вместо ограничителя ПС может использоваться ограничитель ПС ВК. Значение кода частоты N лежит в пределах 0000 4095 и вычисляется по формуле

$$N = \frac{4095}{f_{\max} - f_{\min}} (f - f_{\min}), \quad (3.1)$$

где  $f$  — задаваемая частота, МГц;  $f_{\max}$  и  $f_{\min}$  — максимальное и минимальное значения частоты ГКЧ, МГц.

Еще одной особенностью реализации интерфейсных функций в рассматриваемых ГКЧ является наличие на задней панели приборов переключателя, обеспечивающего блокировку всех органов управления, расположенных на передней панели.

Вторая концепция построения измерителей КСВН и ослабления основана на том, что индикаторный блок является управляющим центром, микропроцессор индикатора управляет как самим индикатором, так и генераторным блоком, который не является самостоятельным прибором. По такому принципу построены измерители Р2-83, Р2-86. В этих приборах применяется программно-аппаратная реализация интерфейсных функций под управлением микропроцессора. Аппаратная

часть представляет собой отдельный узел, соединенный с внутриприборной магистралью индикатора посредством объемного жгута с многоканальным соединителем.

Устройство интерфейсное совместно с вычислителем позволяет реализовать интерфейсные функции СИ1, И6, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1. В измерителях Р2-83, Р2-86 обеспечено управление через КОП всеми кнопками передней панели.

При первой передаче кода кнопки происходит ее включение, при второй — выключение. Наряду с этим существует еще значительное число дополнительных режимов работы в КОП. Эти приборы могут выдавать информацию в формате вещественных чисел ЭВМ «Электроника-60» восьмибайтовыми последовательностями вида

Значение частоты в формате с плавающей точкой

Значение измеряемой величины в формате с плавающей точкой

При этом значения частоты и измеряемой величины не разделяются каким-либо знаком или пробелом. Одновременно с выдачей в КОП последнего байта результата измерения выставляется сигнал КП (конец передачи). Возможна выдача информации в символьных кодах по ГОСТ 13052—74 20-байтовыми последовательностями:

Значение частоты в формате с плавающей точкой с использованием символа порядка «Е»

Значение измеряемой величины в формате с плавающей точкой с использованием символа порядка «Е»

ВК ПС

Информация поступает из приборов в одном из четырех режимов в зависимости от модификации команды «измерение», получаемой прибором. В первом случае происходит измерение в полосе частот. После получения команды ЗАП измеритель выводит в КОП результаты измерения на частотах, заданных командами «начальная частота», «конечная частота» и «шаг», и переходит в автономный режим работы, ожидая новых команд из КОП. Во втором случае происходит измерение с остановкой после передачи в КОП результата измерения на каждой частотной точке. При этом измерение продолжается с помощью подачи на измеритель команды ЗАП. В третьем случае происходит повторение измерения на текущей частотной точке. Результат однократного измерения передается в КОП, и измеритель останавливается. Для продолжения измерения необходима передача команды ЗАП. В четвертом случае после получения команды ЗАП измеритель непрерывно выводит в КОП результаты измерений по предварительно заданным командам «начальная частота», «конечная частота» и «шаг» частотным точкам. Выход из этого режима работы осуществляется специальной командой «прекращение измерения» или универсальной СБУ.

Наряду с этими режимами измеритель обеспечивает ввод через КОП информации для вывода на ЭЛТ. Для этого из КОП в тело данных команды «данные измерителю» должны вводиться коды кривой. Кривая, выводимая на ЭЛТ, будет задаваться 512 двухбайтовыми числами, которые должны кодироваться в двоичной системе счисления в дополнительном коде.

Приборы обеспечивают выдачу в КОП сигнала ЗО по следующим причинам: ошибки программирования; правильное программирование; перегрузка при измерениях. Причина конкретизируется в байте состояния прибора. Наряду с этим возможно запрещение выставления запросов на обслуживание передач в прибор специальной команды «управление сигналом ЗО».

**Измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения (вида Р4).** Предназначены для измерения модулей и фазы комплексных коэффициентов передачи и отражения пассивных и активных объектов СВЧ диапазона. Эти приборы являются сложными комплексами и состоят, как правило, из трех основных блоков: генераторного, обеспечивающего создание сетки СВЧ зондирующих сигналов; преобразовательного, обеспечивающего перенос частоты этих

сигналов в ВЧ диапазон; блока индикации, в котором на основании сравнения амплитуд и фазовых соотношений сигналов прошедшей (отраженной) и опорной мощности получают информацию обо всех измеряемых параметрах СВЧ объекта. Управление таким комплексом через КОП требует глубокого знания особенностей его работы. Для сопряжения с КОП приспособлены приборы Р4-45—Р4-53, которые по принципам реализации интерфейсных функций, аппаратному и программному обеспечению связи с КОП близки к измерителям Р2-83, но по возможностям программирования и выдачи результатов измерений являются более современными.

Набор интерфейсных функций, реализованных в этих приборах, совпадает с набором Р2-83: СИ1, И6, СП1, П4, З1, СБ1, ЗП1. Программирование режимов работы приборов через КОП осуществляется по тем же принципам, что и в Р2-83. От контроллера АИС возможна передача кодов, соответствующих всем клавишам передней панели измерителей, причем при первом получении измерителем кода клавиши будет происходить ее включение, при втором—выключение. Передача информации программирования осуществляется в формате «код программирования—данные программирования—ограничитель данных». Код программирования

Таблица 3.8

**Кодирование команд на выдачу информации из приборов вида Р4**

Код и обозначение	Команда	Примечание
127 <sub>8</sub> W	Включение режима установки фиксированной частотной метки и передача через КОП информации из измерителя	Измеритель выдает результаты измерений по всем заранее введенным фиксированным частотам во время одной развертки частоты (для повторного выполнения необходимо подать команду ЗАП)
41 <sub>8</sub> !	Запрос на выдачу в КОП информации состояния	Причины выдачи информации состояния и коды байтов состояния описаны ниже
43 <sub>8</sub> #	Управление меткой измерителей и передача через КОП информации из измерителя	Происходит выдача результатов измерений от начала частотной развертки до конца. Затем измеритель выходит из этого режима
44 <sub>8</sub> ○	Передача данных АЦП и значений аттенуаторов	Передаются в КОП данные о результатах измерений по каналам прибора А, В, С непосредственно с АЦП минуя микроЭВМ прибора, данные о показаниях электронно-управляемых аттенуаторов, установленных в каналах прибора, или же обработанные микроЭВМ результаты измерений (в зависимости от модификации команды)
57 <sub>8</sub> /	Считывание состояния передней панели измерителя	В КОП выдается в кодированном виде последовательность длиной 26 байтов с данными о включенных клавишах передней панели
133 <sub>8</sub> [	Передача верхней строки с ЭЛТ	В КОП выдаются информационные строки ЭЛТ, несущие сведения о положении частотной метки, выбранных режимах измерений, измеряемые величины на частоте метки
135 <sub>8</sub> ]	Передача нижней строки	

длиной 1 байт определяет необходимое действие. В измерителях возможно программирование 52 различных действий. Из них 45 соответствуют нажатию какой-либо клавиши или переключению тумблера, а 7 требуют комбинированных действий (например, считывание данных о состоянии передней панели прибора, передача информации о верхней или нижней строке ЭЛТ и т. д.). Данные программирования используются только в восьми командах. В этом поле уточняется действие, предписываемое в поле «код программирования».

Здесь может быть значение частоты в формате XX.XXX=, где X—десятичная цифра, а знак «=»—ограничитель поля «данные программирования» для команд типа «установка начальной частоты полосы качания генератора» или какое-либо число в формате X=, определяющее модификацию команды, как, например, в команде «передача данных АЦП и значений аттенуаторов». В качестве ограничителя данных при передаче информации программирования используется код знака «,».

Выдача информации из приборов осуществляется по специальным командам, приведенным в табл. 3.8.

Наибольшие возможности по выдаче измерительной информации имеет команда 0. В зависимости от значения ее поля «данные программирования» результаты измерений могут выдаваться в трех различных форматах. В первом случае в КОП выдается сообщение, содержащее значение частоты, на которой проводится измерение, и результаты измерений одного или двух параметров на этой частоте (КСВН, фазы коэффициента отражения, ГВЗ и т. д. в зависимости от результатов предыдущего программирования режимов работы измерителя). Длина сообщения 22, 15 или 8 байтов. Во втором случае будет выдаваться сообщение, содержащее наряду с данными о частоте и значениях одного или двух параметров еще данные АЦП по каналам А, В, С и данные о показаниях аттенуаторов в каналах А, В, С. Длина этого сообщения всегда равна 28 байтам вне зависимости от режима работы измерителя. В третьем случае в КОП будут выдаваться только данные АЦП и данные о показаниях аттенуаторов в каналах А, В, С, но данные АЦП будут выдаваться с более высоким разрешением по точности (каждое значение данных АЦП выдается в виде четырех байтов информации, в отличие от второго случая, где выдача показаний АЦП осуществляется двумя байтами). Длина всего сообщения 38 байтов.

Таблица 3.9

**Перечень состояний приборов Р4-45—Р4-53, при которых выдается сигнал 30**

Описание состояния прибора	Кодирование байта на ЛД						
	6	5	4	3	2	1	0
Значение частоты, введенное через КОП, не входит в полосу рабочих частот измерителя	1	0	0	0	0	0	1
Измеритель принял команды программирования через КОП	1	0	0	0	0	1	1
Измеритель зафиксировал перегрузку во время измерения по данному каналу	1	0	0	0	1	0	0
Измеритель принял нераспознаваемую команду	1	0	0	0	1	1	0
Измеритель зафиксировал недогрузку во время измерения по данному каналу	1	0	0	0	0	1	0
Измеритель сообщает о начальной точке развертки при выдаче информации из измерителя через КОП	1	0	0	0	1	1	1



В измерителях Р4-45—Р4-53 предусмотрена возможность выставления сигнала 30 и выдача байтов состояния по причинам, изложенным в табл. 3.9. Наряду с этим с помощью специальной команды «!» контроллер АИС может затребовать для выдачи в КОП байт состояния прибора.

### 3.13. Измерительные генераторы (подгруппа Г)

**Генераторы сигналов низкочастотные (приборы вида ГЗ).** Применяются при испытаниях и настройке низкочастотных узлов радиоэлектронной аппаратуры, для модуляции сигналов высокочастотных измерительных генераторов и передатчиков, градуировки электронных вольтметров, при снятии амплитудно-частотных характеристик радиоустройства; для питания различных схем.

Низкочастотный прецизионный генератор сигналов ГЗ-119 благодаря наличию интерфейсных функций в соответствии с ГОСТ 26.003—80 может использоваться в АИС. Через КОП осуществляется управление всеми режимами работы и параметрами генератора: частотой, уровнем выходного напряжения, скоростью манипуляции в режимах ЧТ, ФТ, ОФТ, ДОФТ, АТ, сдвигом частоты в режиме ЧТ, коэффициентом модуляции в режиме АМ.

При работе с управлением по КОП прибор обеспечивает: коррекцию частоты и уровня выходного напряжения по командам контроллера системы или автоматически; переход прибора в режим контроля частоты и напряжения; запись 15 программ по частоте и уровню и смену программ по командам контроллера или автоматически; переход от внутренней манипуляции к внешней и обратно. Входные сигналы на устройство сопряжения с КОП поступают по трем шинам. Кодирование сообщений, поступающих по шинам данных, осуществляется в соответствии с табл. 3.10. Адрес, предписанный прибору, поступает на вход устройства сопряжения в виде двоичного пятиразрядного кода.

При программировании параметров выходного сигнала после адресации прибора на табло генератора загораются индикаторы СПАД и СДСТ. Первый индикатор гаснет после передачи команды НПМ, установки потенциала «лог. 0» на линии ДУ или установки потенциала «лог. 1» на линии ОИ. Второй индикатор гаснет в последних двух случаях, а также после передачи команды ПНМ.

Записанную в приборе программу при необходимости можно менять по частям, что сокращает время программирования. Интервал между посылкой отдельных байтов устанавливается не меньше 200 мс для всех сообщений.

Для работы в составе АИС в генераторе ГЗ-119 реализованы интерфейсные функции П, СП, СБ, ЗП, ДМ. В связи с отсутствием функций СИ и И прибор не может передавать в КОП информацию состояния, что снижает возможности его использования в составе АИС.

Для настройки и испытания сервомеханизмов, узлов аналоговых вычислительных устройств и систем автоматического регулирования применяется низкочастотный генератор ГЗ-122, который представляет собой прецизионный источник синусоидальных электрических колебаний с высокой точностью установки и стабильностью частоты в диапазоне 0,001 Гц...2 МГц с дискретностью установки частоты 0,001 Гц. В ГЗ-122 предусмотрена возможность записи через КОП девяти программ по частоте и уровню выходного сигнала. Для удобства и сокращения времени ввода информации в генераторе реализован режим коррекции вводимых значений. Программирование прибора осуществляется в соответствии с ГОСТ 13052—74 (табл. 3.11).

Наряду с управлением через КОП всеми режимами работы в генераторе предусмотрена возможность выдачи в КОП сигнала 30 при неисправном приборе или некорректном наборе параметров. В ответ на последовательный опрос прибор выдает в КОП байт состояния, несущего следующую информацию:

0 0 0 0 0 0—прибор готов к работе, обслуживание не запрещается;  
0 0 0 0 1 1—неисправность канала частоты, запрашивается обслуживание;  
0 0 0 1 0 1—неисправность канала уровня, запрашивается обслуживание;  
0 0 0 1 1 1—некорректный набор или команда управления, запрашивается обслуживание.

Кодирование сообщений прибору ГЗ-119

Условное обозначение сообщения	Наименование сообщения	Код на линии данных						
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0
КДЛ	Выбор корректирующей декады справа налево	1	0	0	0	0	1	1
КДП	Выбор корректирующей декады слева направо	1	0	0	1	0	0	1
КЦБ	Увеличение корректируемой цифры	1	0	0	0	1	1	1
КЦМ	Уменьшение корректируемой цифры	1	0	0	1	0	1	1
КЦА	Автоматическая коррекция	1	0	0	1	1	1	1
СБК	Сброс режима коррекции	1	0	0	1	0	0	0
НПР	Ручная установка номера программы	1	0	0	1	0	1	0
НПА	Автоматическая смена программы	1	0	0	1	1	0	0
f	Установка частоты	1	0	0	0	1	1	0
U	Установка напряжения	1	0	0	0	1	0	1
Hz/Bod	Установка единицы измерения	1	0	0	0	1	0	0
kHz	Установка единицы измерения	1	0	0	0	0	0	1
MHz	»	1	0	0	0	0	1	0
mV	»	1	0	0	1	1	0	1
Hz	Установка режима	1	0	1	1	1	1	1
ЧТ	»	1	0	1	1	0	1	0
ОФТ	»	1	0	1	1	0	1	1
ДО ФТ	Установка режима	1	0	1	1	1	0	0
AT	»	1	0	1	1	1	1	0
AM	»	1	0	1	1	0	0	1
F	Установка частоты модуляции	1	0	1	0	1	1	0
$\Delta f$	Установка сдвига частот	1	0	1	0	1	0	0
$\tau_1/\tau_2$ I	Установка отношения	1	0	1	0	0	1	0
$\tau_1/\tau_2$ II	»	1	0	1	0	1	1	1
M	Установка коэффициента	1	0	1	0	0	0	1
+ / -	Установка паузы или послышки	1	0	1	0	0	1	1
BM	Установка внешней модуляции	1	0	1	1	0	0	0

Для работы в АИС-генераторе ГЗ-122 реализованы интерфейсные функции СП1, ПЗ, СИ1, И2, СБ1, З1, ДМ2.




Дистанционное управление генератором осуществляется от КОП через устройство сопряжения. Программные данные вводятся побайтно в следующих форматах:

$\langle f \rangle \langle \text{цифра} \rangle \langle \text{цифра} \rangle \dots \langle \text{ДТ} \rangle \langle \text{цифра} \rangle \langle \text{Hz} \rangle$  или  $\langle \text{kHz} \rangle$  или  
 $\langle U \rangle \langle \text{цифра} \rangle \langle \text{цифра} \rangle \dots \langle \text{ДТ} \rangle \langle \text{цифра} \rangle \langle \text{mV} \rangle$

Кодирование сообщений прибору ГЗ-122

Условное обозначение	Наименование сообщения	Код на линии данных							
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0	
f	Установка частоты	1	0	0	0	1	1	0	
U	Установка уровня	1	0	0	0	1	0	1	
Hz		1	0	0	0	1	0	0	
kHz	Установка единицы измерения	1	0	0	1	0	0	0	
MHz		1	0	0	0	0	1	0	
mV		1	0	0	0	0	1	1	
ДТ	Установка десятичной точки	0	1	0	1	1	1	0	
<div><div><div>→</div><div>←</div><div>↕</div><div>↕</div></div><div>↻</div></div>	Переход в режим коррекции и выход из режима	1	0	0	1	1	0	1	
	Переход в режим автоматической коррекции	1	0	0	1	0	1	0	

Окончание табл. 3.11

Условное обозначение	Наименование сообщения	Код на линии данных						
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0
ЗАПИСЬ ВЫЗОВ СБРОС	Запись программы в ОЗУ	1	0	1	0	0	0	1
	Вызов программы из ОЗУ	1	0	1	1	1	1	1
	Переход в режим чтения	1	0	1	1	0	1	0
  	Переключение выхода прибора							
	на гнездо 	1	0	1	0	1	0	0
	Стирание информации	1	0	0	0	1	1	1

Для удобства и сокращения времени ввода информации в генераторе реализован режим коррекции значения частоты или уровня выходного сигнала, при котором ранее установленное значение корректируется в любом десятичном разряде без переноса всего значения. Данные при этом также вводятся побайтно в формате



Запись или вызов программы осуществляется в формате  $\langle f \rangle \langle \text{значение} \rangle \langle \text{единица измерения} \rangle \langle U \rangle \langle \text{значение} \rangle \langle \text{mV} \rangle \langle \text{запись} \rangle \langle \text{цифра номера программы} \rangle$  или ...  $\langle \text{вызов} \rangle \langle \text{цифра номера программы} \rangle$ .

Устройство сопряжения с КОП обеспечивает начальную установку параметров выходного сигнала при включении питания генератора, переходе в режим контроля (при нажатии кнопки ТЕСТ) или поступлении команды СБУ (или СБА) от КОП, формируя в указанных случаях тестовые сигналы проверки отдельных узлов генератора.

**Генераторы сигналов высокочастотные (приборы вида Г4).** Представляют собой приборы-стимулы и являются неотъемлемой частью как сложных радиоизмерительных приборов (анализаторы спектра, измерители АЧХ, измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения и т. д.), построенных по блочно-модульному принципу, так и автоматизированных измерительных систем, строящихся по приборно-модульному принципу. В высокочастотных генераторах, разрабатываемых в последние годы, в той или иной мере реализованы интерфейсные функции в соответствии с ГОСТ 26.003—80.

В приборах ГЗ-164, Г4-176, Г4-17-01 интерфейсные функции реализованы одинаковым образом в наборе СП1, П2 и ДМ2. Предусмотрена возможность программирования через КОП всех режимов функционирования генераторов. Из-за отсутствия функций СИ и И эти приборы не могут передавать в КОП информацию состояния, т. е. не предусмотрены режимы контроля правильности программирования генераторов, сигнализации о переходе их в ненормальное состояние и выдачи информации о положении органов управления приборами. Все это значительно снижает возможности использования их в составе АИС.

В генераторах РГ4-02—РГ4-09 реализован более широкий набор интерфейсных функций: СИ1, И6, СП1, П4, ДМ2, СБ1, ЗП1. Наряду с программированием через КОП всех режимов работы возможна выдача в КОП информации о том режиме, в котором генератор находится в данный момент. Такой набор возможностей позволяет приборам работать в составе АИС без какого-либо вмешательства со стороны оператора в течение длительного времени. Наряду с этим обеспечивается выставление сигнала ЗО с конкретизацией причины запроса в байте состояния. Сигнал ЗО выставляется в случаях ошибок синтаксиса, синхронизации, установления диапазона или при переполнении буфера.

### 3.14. Генераторы импульсов (видов И1, Г5)

**Генераторы испытательных импульсов И1-17, И1-18.** Генераторы предназначены для проверки переходных характеристик трактов осциллографов в полосе частот 1...10 МГц (И1-17) и 0...100 МГц (И1-18) в жестких условиях эксплуатации. Приборы позволяют измерять следующие параметры ПХ: время нарастания, время установления, выброс на вершине, неравномерность и наклон вершины. Генераторы работают в автономном режиме или в составе АИС для контроля метрологических характеристик осциллографов, а также измерения параметров ПХ линейных четырехполосников (видеоусилителей, аттенуаторов и т. д.).

В генераторах реализованы интерфейсные функции СП1, П2, ДМ1, СБ1, ЗП1 и предусмотрена возможность программирования через КОП всех режимов работы приборов, кроме однократного запуска.

Программная строка состоит из буквенно-цифровых кодов задаваемых режимов:

$\langle \text{идентификатор режима} \rangle \dots \langle \text{идентификатор режима} \rangle \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$

Для передачи численного значения функции (периода повторения, длительности, временного сдвига и ослабления) используется формат

$\langle \text{идентификатор режима} \rangle \langle \text{число} \rangle \langle \text{ВК} \rangle \langle \text{ПС} \rangle.$

Число состоит из двух или четырех цифр. При передаче числовых значений местоположение запятой определяется в зависимости от задаваемой функции и режима работы прибора. Поэтому при программировании запятая игнорируется.

Параметры основных импульсов, выдаваемых генераторами, изменяются после передачи по КОП кодов соответствующих программных данных и выдачи команды ЗАП. В генераторах предусмотрена возможность принудительного перехода на местное управление путем нажатия соответствующей кнопки. При работе в составе АИС приборы обеспечивают следующие временные операционные характеристики: время установления параметра «полярность импульса» не более 5 с, остальных параметров — не более 1 с.

**Генератор импульсов Г5-86.** Предназначен для измерений динамических параметров различных радиотехнических устройств, средств связи, их узлов, а также поверки радиоизмерительных приборов в составе АИС (в том числе транспортируемых) и в автономном режиме. В генераторе реализованы интерфейсные функции СИ1, СП1, И5, П4, З1, ДМ1, СБ1, ЗП1.

При работе в составе АИС генератор необходимо перевести в программный режим нажатием соответствующей кнопки на передней панели. Прибор выставляет сигнал ЗО и формирует байт состояния, сообщаящий о готовности работы прибора в составе АИС. После получения подтверждения от контроллера системы органы управления, расположенные на передней панели прибора, блокируются и генератор переходит в режим дистанционного управления.

Программирование прибора осуществляется путем передачи по КОП буквенно-цифровой последовательности кодов соответствующих режимов работы генератора:

$\langle \text{идентификатор режима} \rangle \langle \text{ограничитель данных} \rangle \dots \langle \text{идентификатор режима} \rangle \langle \text{ограничитель данных} \rangle,$

где ограничитель данных выбирается в соответствии с ГОСТ 13052—74.

При установке параметров формат программной информации следующий:

$\langle \text{идентификатор режима} \rangle \langle \text{пробел} \rangle \langle \text{число} \rangle \langle \text{размерность} \rangle \langle \text{ограничитель данных} \rangle,$

где число может быть целым или с фиксированной запятой.

В процессе программирования прибора производится проверка вводимых значений параметров на соответствие их пределам, а также на совместимость. При обнаружении некорректных значений генератор выдает сигнал ЗО.

По команде от контроллера системы прибор выдает в КОП информацию о значениях установленных параметров в формате, аналогичном формату, используемому при программировании.

При нажатии кнопки возврата на местное управление генератор сообщает об этом контроллеру путем выставления сигнала ЗО и формирования соответствующего байта состояния. При этом если программой контроллера АИС предусмотрена возможность передачи управления, то генератор переходит в режим местного управления.

Таким образом, сигнал «Запрос на обслуживание» выдается прибором в следующих случаях:

- при передаче управления системе;
- при возврате на местное управление;

при ошибочных программных данных.

В генераторе импульсов Г5-86 реализован режим самообучения, позволяющий записывать в память прибора до десяти различных программ, представляющих собой конкретные, ранее установленные сочетания параметров генератора. При необходимости установка режимов работы прибора в соответствии с одной из записанных ранее программ может быть осуществлена путем передачи номера соответствующей программы.

### 3.15. Генераторы сигналов специальной формы (вида Г6)

Источники сигналов в форме меандра, треугольной, пилообразной и т. д. называют измерительными генераторами сигналов специальной формы. Такие приборы, как Г6-33, Г6-36, РГ6-38, благодаря наличию интерфейсных функций имеют возможность работы в составе АИС.

При работе с КОП программируются следующие параметры генератора Г6-33: частота и форма выходного сигнала; ступенчатое ослабление сигнала на выходе относительно уровня, установленное с помощью плавной регулировки; фазовый сдвиг сигналов; коэффициент заполнения прямоугольного сигнала на выходе П.

Входные сигналы поступают на устройство сопряжения с КОП по четырем шинам. Сообщения, поступающие по шинам данных, кодируются в соответствии с табл. 3.12.

Для работы с КОП в генераторе Г6-33 реализованы интерфейсные функции П, СП, СБ, ЗП и ДМ, а в Г6-36—еще и СИ, И, ЗО, что позволяет ему выдавать информацию в КОП о своем состоянии и осуществлять запрос на обслуживание в случае ошибки по четности или некорректного управления. При работе с КОП обеспечивается возможность программирования всех органов управления, расположенных на передней панели приборов Г6-33, Г6-36, кроме тумблера «сеть».

Таблица 3.12

Кодирование сообщений прибору Г6-33

Условное обозначение сообщения	Наименование сообщения	Код на линиях данных						
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0
F	Установка частоты	1	0	0	0	1	1	0
K <sub>F</sub>	Коррекция частоты	1	0	0	1	0	0	1
φ	Установка фазового сдвига	1	0	0	1	1	0	1
τ/T	Установка коэффициента заполнения	1	0	1	1	0	1	0
B1	Установка ослабления в первом канале	1	0	1	1	0	0	0
B2	Установка во втором канале	1	0	1	0	0	1	1
	Установка выходного напряжения в первом канале:							
~	синусоидальной формы	1	0	0	0	0	1	0
^^^	треугольной формы	1	0	0	0	0	0	1
^	пилообразной формы (одиночный)	1	0	0	0	1	0	1
^^^	пилообразной формы	1	0	1	0	1	1	1
BB	Ввод информации	0	0	0	0	1	0	1

## Кодирование сообщений прибору Г6-36

Условное обозначение сообщения	Наименование сообщения	Код на линиях данных						
		ЛД6	ЛД5	ЛД4	ЛД3	ЛД2	ЛД1	ЛД0
f	Установка частоты	0	0	1	0	0	1	0
U	Установка напряжения	0	0	1	0	1	0	0
ВВОД	Ввод информации	0	0	1	0	1	0	1
mHz	Установка единицы измерения	0	0	1	0	0	0	0
Hz	» » »	0	0	1	0	0	1	1
kHz	» » »	0	0	1	0	1	1	0
,	» » »							
,	Установка десятичной точки	0	0	1	0	0	0	1

При программировании параметров выходного сигнала генератора Г6-33 после адресации прибора на табло загорается индикатор дистанционного управления, который остается включенным в течение всего времени работы с управлением по КОП. При этом для работы генератора в режиме внешнего управления частотой устанавливают нулевое значение частоты с помощью клавиши «f».

Программирование генератора Г6-36 обеспечивает реализацию следующих функций: установку частоты и уровня выходного напряжения; коррекцию установленных значений частоты и уровня; коррекцию единицы измерения частоты. Кодирование информации на шинах данных осуществляется в соответствии с табл. 3.13. Кроме того, устройство сопряжения с КОП генератора Г6-36 формирует команды МАП, СБУ, НПМ, ПНМ, а также СПАД и СПАК, определяющие тип передаваемой информации. В состоянии СПАД передаются интерфейсные команды, а в состоянии СПАК — непосредственно данные.

Прибор взаимодействует с КОП в два этапа. Вначале генератор адресуется на прием, а затем передаются непосредственно данные. Обнаружение возможных одиночных ошибок обеспечивается проверкой на четность передаваемого по шине данных КОП байта информации. В случае ошибки генератор выдает в КОП сигнал 30 и байт состояния, в котором указывается причина запроса:

01110001 — ошибка четности;

01110010 — некорректность управления, ошибка программирования.

В настоящее время все более широкое распространение получают программно-управляемые многофазные генераторы-синтезаторы сигналов специальной формы. Генератор РГ6-38 представляет собой источник сигналов различной формы с высокой точностью установки и стабильностью частоты, предназначенный для исследования, настройки и испытаний систем и приборов, используемых в радиоэлектронике, автоматике, вычислительной техники, приборостроении. Генератор построен на основе цифрового синтеза сигналов с применением цифровых интегральных схем и БИС, что облегчает его использование в составе АИС. Для работы с КОП в приборе реализованы интерфейсные функции СП1, ПЗ, СИ1, И6, З1, ДМ2, СБ1, ЗП1.

Сигнал 30 выдается в КОП по следующим причинам: неисправность прибора, установление предписанных режимов или окончание режима тестирования; ошибки при программировании или сбойная ситуация.

Байт состояния, выдаваемый при этом в КОП, содержит следующую информацию:

1110\*\*\*\* — неисправность прибора;

00000000 — нормальная работа, устройство «готово»;

00010000 — нормальная работа, устройство «занято»;



00000110— нормальная работа, установлен предписанный режим работы генератора и окончен режим тестирования;  
 01100000— ошибка в программировании или сбойная ситуация.

### 3.16. Расширение функциональных возможностей средств измерений

Основное достоинство интерфейса КОП— обеспечение программного режима работы, дистанционного управления, автоматизации процесса измерения и регистрации данных. Однако не только в этом заключаются преимущества его применения. Следует напомнить, что вся измерительная и программная информация в КОП преобразуется в цифровые коды. Иногда это считается не столь существенным, так как форма представления информации практически не изменяет ее сути, а зачастую может оказаться и менее удобной для восприятия. Например, визуальный отсчет значения напряжения или частоты более информативен, чем последовательность нулей и единиц, а форма сигнала на экране осциллографа более наглядна, чем массив цифровых данных. Но представляя измерительную и программную информацию в цифровом коде, прибор обретает очень важное свойство, становясь совместимым с ЭВМ.

В то же время в большинстве современных приборов функции управления режимами работы и предварительной обработки измерительной информации возложены на встроенный микропроцессор. Однако свойства микропроцессора и ЭВМ не эквивалентны. Во-первых, вычислительные мощности встроенного микропроцессора и внешней ЭВМ не соизмеримы, а следовательно, не соизмеримы и возможности по реализации различных алгоритмов. Во-вторых, встроенным средствам вычислительной техники не присуща гибкость, так как они работают по заранее разработанным и хранящимся в ПЗУ программам. Пользователь же внешней ЭВМ, сопряженной с прибором через КОП, может сделать с получаемой информацией все, что ему необходимо. Именно благодаря этому прибор, включенный в состав АИС,— совсем не тот прибор, который работал автономно. В системе прибор получает ряд дополнительных функциональных возможностей (зачастую нетрадиционных), которые не могли быть реализованы самостоятельно. Поэтому пользователь может значительно сократить аппаратную избыточность, возлагая проведение определенных измерений на не предназначенные для данных целей приборы, улучшая при этом и метрологические характеристики.

Например, известна связь временных и частотных параметров сигнала через прямое и обратное Фурье-преобразования:

$$X(K) = \sum_{n=0}^{N-1} X(nT) W^{Kn}, \quad K=0, \dots, N-1; \quad n=0, \dots, N-1; \quad (3.2)$$

$$X(nT) = \frac{1}{N} \sum_{K=0}^{N-1} X(K) W^{-Kn}, \quad (3.3)$$

где  $X(nT)$ — последовательность  $N$  временных отсчетов с периодом  $T$ ;  $X(K)$ — последовательность  $N$  частотных отсчетов;  $W = e^{-i2\pi/N}$ .

Формулы (3.2) и (3.3) справедливы для дискретизованных сигналов, с которыми реально приходится иметь дело в АИС. Дискретизация не вносит дополнительных погрешностей, если исходный аналоговый сигнал  $X_a(t)$  имеет ограниченный спектр и выполняется условие теоремы Котельникова

$$2\omega_{amax}/q \leq 2\pi f_d \leq 2\omega_{amin}/(q-1), \quad (3.4)$$

где  $q=1, 2, \dots, \text{int} [\omega_{amax}/(\omega_{amax}-\omega_{amin})]$ ;  $\text{int} [\dots]$ — целая часть числа;  $\omega_{amax}$ ,  $\omega_{amin}$ — максимальная и минимальная круговая частота спектра сигнала;  $f_d$ — частота дискретизации.

Условие (3.4) выполняется далеко не всегда. Так, цифровой осциллограф имеет ограниченный объем экранной области ЗУ, т. е. фиксируется всегда одно

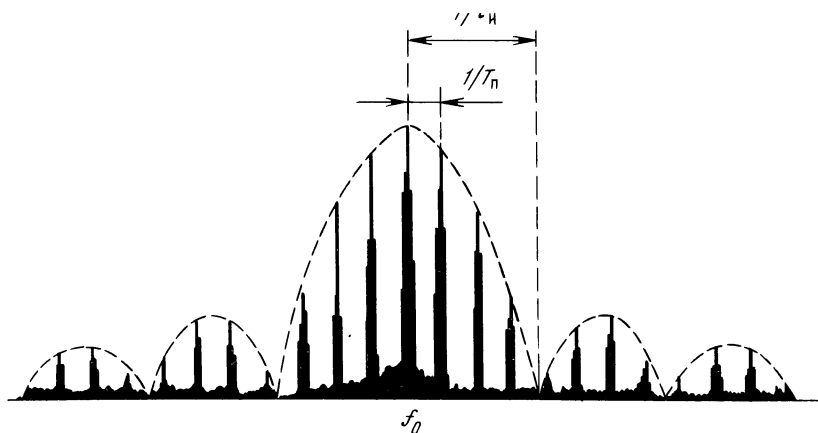


Рис. 3.4. Спектр последовательности радиоимпульсов

и то же число отсчетов вне зависимости от значения времени развертки, а следовательно, при его изменении изменяется и  $f_d$ . Поскольку анализ погрешностей дискретизации не входит в рассматриваемую задачу, будем считать, что сигнал преобразован в дискретный вид точно (без потери информации).

Исходя из взаимоднозначных соотношений (3.2) и (3.3), можно сделать вывод о том, что после соответствующей обработки из временной формы сигнала могут быть получены его спектральные характеристики и наоборот. Соответственно осциллограф может с успехом заменить анализатор спектра, а последний, в свою очередь, — осциллограф.

Для реальных сигналов всегда используются упрощенные алгоритмы, получившие название быстрого преобразования Фурье (БПФ) и обратного БПФ (ОБПФ). Обработка по этим алгоритмам нескольких тысяч точек (объем памяти на канал в приборах, как правило, не превышает 2...4 К) для современной ЭВМ не слишком затруднительна. К тому же пользователя зачастую интересует не сама форма сигнала (спектра), а некоторые его параметры. В этом случае задача упрощается. Если, например, анализатором записан и передан в ЭВМ спектр последовательности радиоимпульсов (рис. 3.4), несложно программным путем отыскать центральное значение, соответствующее несущей частоте, нули огибающей, частотный разнос которых определяет длительность импульсов, и частотный разнос между составляющими спектра, который однозначно соответствует периоду следования импульсов.

Кроме того, существует ряд задач, которые трудно решить традиционными приборами. Пусть необходимо получить спектр одиночного импульса, т. е. анализатор должен регистрировать так называемый мгновенный спектр. Из существующих анализаторов спектра такой способностью обладает, например, С4-80. Остальные анализаторы являются приборами гетеродинного типа с последовательным сканированием по частоте. В этом случае удобно воспользоваться осциллографом, записав сигнал в ждущем режиме развертки, и рассчитать затем его спектр.

Приведем другой пример использования зависимостей Фурье. Пусть исследователя интересуют некоторые вероятностные характеристики сигнала, например его автокорреляционная функция (АКФ), для измерений которой может быть применен прибор Х6-8. Однако есть и другой способ решения этой задачи. Известно, что АКФ есть не что иное, как обратное преобразование Фурье от спектральной плотности мощности (СПМ) сигнала или его энергетического спектра. Поэтому задача нахождения АКФ может быть решена в АИС с помощью анализатора спектра. Характеристика, пропорциональная СПМ, может быть

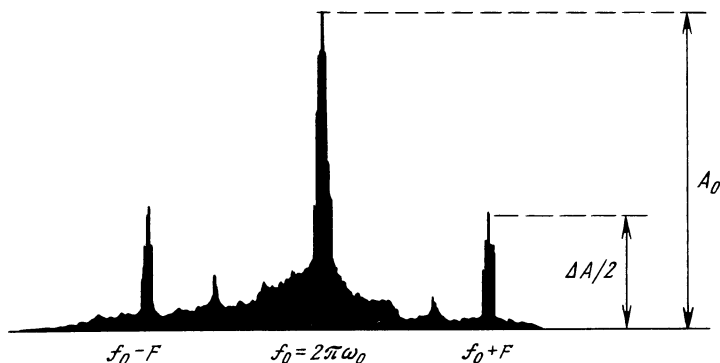


Рис. 3.5. Спектр АМ колебания

получена в каждой точке с помощью возведения в квадрат соответствующей спектральной составляющей. Существует ряд приборов, таких как СК4-83, СК4-84, которые могут непосредственно индигировать и передавать в КОП кривую СПМ. Из имеющейся СПМ сигнала с помощью алгоритма ОБПФ нетрудно получить его нормированную АКФ.

Передача в КОП формы сигнала (спектра) предоставляет пользователю практически неограниченные возможности для исследования различных характеристик сигнала. Пусть, например, пользователя интересует глубина модуляции АМ-колебания

$$X(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (3.5)$$

где  $A(t) = A_0 + \Delta A \cos \Omega t$ ;  $\omega_0$ ,  $\varphi_0$  — частота и фаза несущего колебания;  $\Omega$  — частота модуляции;  $\Delta A$  — амплитуда изменения огибающей. Традиционно для этих целей следовало бы использовать измеритель коэффициента АМ С2-23 или СК2-24. Однако коэффициент модуляции  $M = \Delta A / A_0$  можно получить из анализа спектра сигнала (рис. 3.5) как отношение удвоенной амплитуды боковых составляющих к амплитуде несущей. Кроме того, несложно найти несущую частоту  $f_0 = 2\pi\omega_0$  и модулирующую частоту  $F = 2\pi\Omega$ .

Анализатор спектра в АИС может применяться и в качестве селективного вольтметра, если пользователя не интересует высокая точность измерения.

Не менее успешно можно обрабатывать в АИС массив данных, соответствующих временной форме сигнала. Если заменить традиционный частотомер-периодомер осциллографом, последний в этой роли оказывается менее критичен к изменению формы периодического сигнала, так как уровень запуска может выбираться программно в любом диапазоне. Кроме того, открываются неограниченные возможности анализа различных переходных процессов, поскольку с помощью ЭВМ нетрудно произвести нормировку и найти длительность фронта по любому уровню (0,1; 0,5; 0,707; 0,9 и т. д.), оценить значения выбросов и т. д. Могут быть получены некоторые численные характеристики, которые практически невозможно найти при обычном визуальном наблюдении, например коэффициент нелинейности напряжения на выходе генератора линейно изменяющегося напряжения (рис. 3.6). Достаточно построить в ЭВМ линейную аппроксимацию и определить в каждой точке отклонение от нее.

Наконец, можно использовать осциллограф в качестве измерителя вероятностных характеристик какого-либо процесса (например, случайной помехи). С помощью осциллографа, имеющего выход на КОП и ЭВМ, такая задача решается достаточно просто. Для этого следует в режиме однократного запуска записать в память реализацию сигнала (рис. 3.7) и передать эту информацию в ЭВМ. Затем можно рассчитать характеристики случайного процесса, например

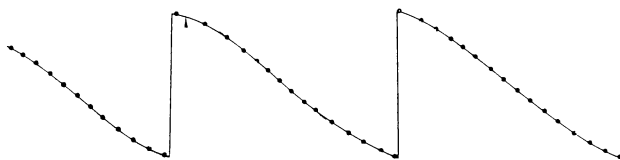


Рис. 3.6. Определение коэффициента нелинейности линейно изменяющегося напряжения



Рис. 3.7. Реализация случайной помехи

математическое ожидание  $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$  и дисперсию  $\sigma_k^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$ , где  $N$ —число отсчетов.

Если выборка из  $N$  отсчетов оказывается недостаточно представительной, не составляет труда в автоматическом режиме произвести несколько циклов записи сигнала, тем самым увеличивая  $N$  в соответствующее число раз. Понятно, что, кроме того, нетрудно составить программу получения гистограммы и произвести приближенную идентификацию закона распределения (рис. 3.8).

При решении многих измерительных задач возникает потребность в использовании генераторов качающейся частоты. Эти малораспространенные приборы имеют ряд недостатков, главным из которых является небольшой диапазон качания частоты при ЧМ. Кроме того, на вход такого прибора надо подавать модулирующий сигнал, который определяет закон изменения частоты во времени. Для простого сканирования по частоте управляющий сигнал должен представлять собой пилообразное напряжение, а для более сложных законов ЧМ не всегда просто получить сигнал модуляции.

От всех указанных недостатков свободен ГКЧ, построенный на основе обычного генератора вида ГЗ или Г4 (в зависимости от требуемого диапазона частот), сопряженного через КОП с ЭВМ. В этом случае ЭВМ передает последовательно во времени программные коды, соответствующие установке частоты выхода на определенное значение, и сообщение «исполнение», затем следующие программные коды и сообщение «исполнение» и т. д. Генератор,

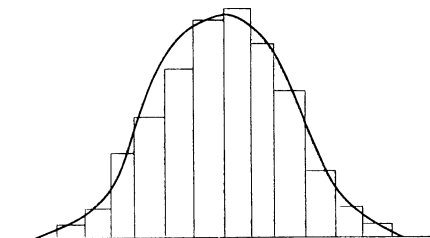


Рис. 3.8. Приближенная идентификация закона распределения

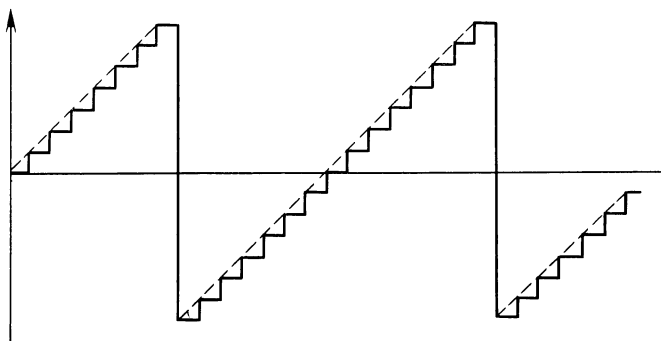


Рис. 3.9. Перестройка частоты генератора

отрабатывая эти команды, изменяет частоту выходного сигнала (рис. 3.9). В этом случае возможен сколь угодно сложный закон модуляции, так как он реализуется программно. Единственным недостатком такого ГКЧ является ступенчатость кривой изменения частоты, которая определяется наименьшей допустимой в генераторе дискретностью ее установки. Но здесь не следует забывать, что генератору свойственна некоторая инерционность, т. е. он не может мгновенно перестраиваться на другую частоту. Поэтому реальная кривая будет в значительной мере сглажена (штриховая линия на рис. 3.9). Но часто и не требуется плавная перестройка, достаточно произвести измерения в отдельных дискретных точках частотного диапазона.

Пусть пользователю требуется снять амплитудно-частотную характеристику какого-либо устройства. Эту задачу можно решить, собрав простейшую АИС, состоящую из ЭВМ (контроллера), генератора и широкополосного вольтметра (рис. 3.10). Генератор в данном случае используется в режиме ГКЧ. Последовательность действий ЭВМ такова: сначала она программирует генератор на выдачу сигнала определенной частоты, затем запускает вольтметр и с задержкой, необходимой для завершения измерения и выдачи его результата в буфер КОП, считывает измеренное значение напряжения, сохраняя его в своем ЗУ, выставляет следующее значение частоты и цикл повторяется. Перестройка генератора осуществляется по пилообразному закону, подобно изображенному на рис. 3.9. После завершения полного «прохода» по частоте в памяти ЭВМ останется массив значений напряжения, соответствующих определенным значениям частоты. Это и есть не что иное, как дискретная АЧХ исследуемой схемы, которую затем можно аппроксимировать, нормировать и т. п.

Приведем другой пример использования прибора не по прямому назначению. Существует ряд задач, связанных с исследованием формы сигнала инфранизких частот в диапазоне приблизительно до 1000 Гц. Это могут быть различные

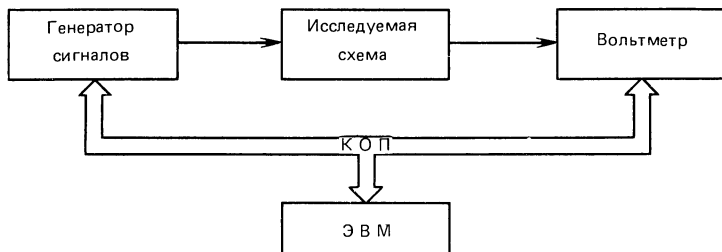


Рис. 3.10. Схема АИС для снятия АЧХ



Рис. 3.11. Схема АИС для исследования формы инфранизкочастотных сигналов

переходные процессы в инерционных системах, акустические колебания, вибрации и наводки. Исследование таких сигналов с помощью осциллографа затруднено, так как обычно максимального времени развертки оказывается недостаточно и к тому же на «медленных» развертках теряется наглядность из-за малого времени послесвечения электронной трубки.

Нельзя не отметить и тот факт, что у осциллографов относительно большая амплитудная погрешность, достигающая 2...4%, что не всегда удовлетворяет пользователя. В этом случае осциллограф может быть с успехом заменен быстродействующим вольтметром. Так, вольтметр В7-43 способен производить до 5000 измерений в секунду. Такой прибор, сопряженный через КОП с ЭВМ, способен выполнять функции анализа формы сигнала (рис. 3.11). В такой системе ЭВМ проводит циклический запуск вольтметра и после каждого запуска считывает и запоминает результат измерений. В итоге получается массив привязанных к определенным моментам отсчетов. В данном случае быстродействие системы ограничивается не прибором, а интерфейсом, так как вольтметр производит до 5000 измерений в секунду, а быстродействие КОП в реальных АИС составляет 1...2 кбайт/с. Быстродействие системы можно существенно повысить, если перевести прибор в режим автоматического запуска, а интерфейс вольтметра и ЭВМ — в режимы ТПД (только передавать) и ТПМ (только принимать) соответственно. В этом случае ЭВМ не потребуется каждый раз передавать команду «запуск устройства».

Погрешность вольтметра, как правило, на порядок меньше, чем амплитудная погрешность осциллографа. Например, для В7-43 она составляет 0,1...0,15%. Кроме того, временная привязка измерений в ЭВМ также может быть выполнена значительно точнее, чем погрешность развертки осциллографа.

На первый взгляд в двух последних примерах отсутствует наглядность информации для непосредственного восприятия, т. е. вместо реальной картины АЧХ или временной формы сигнала мы получаем массивы отсчетов, хранящиеся в памяти ЭВМ. Однако существуют различные периферийные устройства, управляемые через КОП, в том числе и графопостроители. При необходимости пользователь может дополнить ими АИС и получать информацию в удобном для восприятия виде.

Приведенные примеры далеко не исчерпывают всех возможностей нетрадиционного использования измерительных приборов в АИС. Здесь представляется неограниченный простор для творческой мысли разработчика системы.

## Глава 4

# Средства вычислительной техники для АИС

## 4.1. Назначение и режимы работы

Электронно-вычислительная машина является сердцем АИС. Она управляет объектом контроля, коммутационными устройствами, измерительными приборами и другими модулями, выполняя операции, необходимые для перевода их в различные режимы работы. В ЭВМ поступают результаты измерений и функционирования всех устройств АИС. Эти результаты обрабатываются по алгоритму, реализованному в управляющей программе, резюмируются, накапливаются и в удобной для пользователя форме представляются в окончательном протоколе испытаний.

Упрощенно порядок работы ЭВМ при контроле объектов представляется следующей последовательностью действий.

Перевод объекта в требуемый режим (посылка по КОП программных данных).

Установление физических соединений контролируемых на объекте точек со средствами измерений (посылка по КОП программных данных).

Выдача в объект нормированных электро- и (или) радиосигналов (посылка по КОП программных данных).

Установка требуемого режима измерений и выполнение их (посылка по КОП программных данных и ожидание завершения операций).

Прием результатов измерений (прием данных по КОП).

Обработка результатов и принятие решения о продолжении испытаний.

К описанной схеме сводится практически любой процесс контроля, с той лишь разницей, что в зависимости от объекта исследований число повторений перечисленных шагов, их параллельность или последовательность могут изменяться. Следовательно, процесс контроля заключается в поочередной выдаче и приеме данных из КОП и их обработке. Обработка данных — стандартная и обычная функция ЭВМ. Работа с КОП — особенность ЭВМ в АИС. Для этого в последней предусматривается специальное устройство ввода-вывода (адаптер), согласующее работу управляющей программы с протоколом обмена, электрическими и конструктивными параметрами интерфейса КОП.

Кроме двух рассмотренных операции контроля сопровождаются рядом других, рутинных для обычных ЭВМ действий:

долговременным хранением управляющих программ, вводом их в ЭВМ, а также вводом, выводом и накоплением данных об объекте исследований;

проведением диалога с оператором с целью регистрации проверок, синхронизации ручных и дистанционных переключений, вывода оперативной информации о ходе контроля, ввода недостающих данных и т. д.;

документированием результатов;

передачей результатов по сети ЭВМ в центральные органы.

Для реализации этого используются периферийные устройства ЭВМ — дисплеи, принтеры, графопостроители, мониторы, модемы, устройства внешней памяти и др. Назначение и режимы их работы не отличаются от общепринятых [13, 31].

Применительно к АИС ЭВМ подразделяются на три группы: специальные, универсальные и отладочные.

Специальные ЭВМ (рис. 4.1) характеризуются минимальным набором периферийных устройств, ориентированы на один или несколько объектов контроля и не предполагают изменения алгоритма в условиях потребителя. Управляющая программа у них обычно размещена в ПЗУ, возможен вариант со сменными кассетами. Из периферии используются упрощенный кнопочный пульт ввода

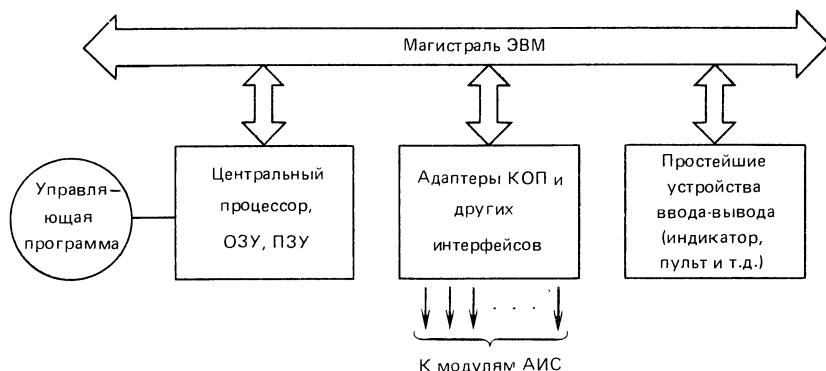


Рис. 4.1. Структурная схема специальной ЭВМ для АИС

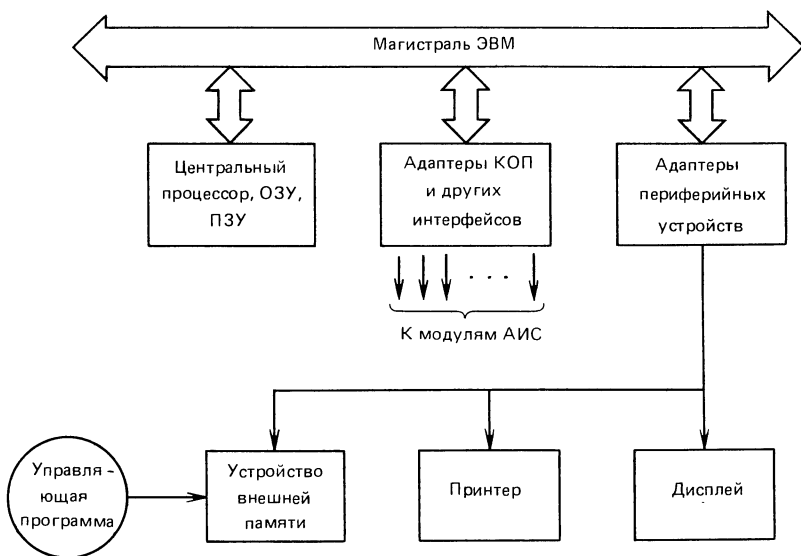


Рис. 4.2. Структурная схема универсальной ЭВМ для АИС

данных (вместо клавиатуры) и монитор на несколько десятков (сотен) символов (вместо дисплея). Реже применяется принтер, еще реже—внешняя память и др. Назначением специальных ЭВМ является интенсивная работа в условиях повышенных или пониженных температуры, влажности, давления, механических воздействий и агрессивных сред.

Универсальные ЭВМ—наиболее известный и распространенный класс вычислительной техники. В группу универсальных ЭВМ для АИС (рис. 4.2) входят персональные, микро- и мини-ЭВМ [31], а также вычислительные комплексы, создаваемые на их основе, например, ДВК-3, СМ1810 и др. В состав ЭВМ универсальной группы входят средства не только запуска управляющей программы АИС в работу, но и изменения этой программы, что позволяет модернизировать АИС в соответствии с изменениями в объекте контроля. Применение универсальных ЭВМ в АИС подразумевает более высокую квалификацию оператора как для выполнения операций контроля, так и для внесения изменений в программу.

Отладочные ЭВМ не используются для контроля объектов. Их назначение—разработка программ для специальных и универсальных ЭВМ. Отладочные ЭВМ широко используются в различных областях техники [31], отличаясь между собой программным обеспечением. Для АИС—это обычные системы отладки, ориентированные на аппаратное и программное обеспечение специальных и универсальных ЭВМ, используемых в АИС.

Универсальные ЭВМ занимают промежуточное положение между специальными и отладочными. Во-первых, они предназначены для контроля, а во-вторых, часть программного обеспечения может разрабатываться на базе только их собственных ресурсов. В перспективе для АИС в основном будут использоваться только универсальные ЭВМ. Это обусловлено их очевидными преимуществами (удобством эксплуатации, совместимостью, мобильностью и т. д.), а также постоянным совершенствованием элементной базы.

Примерами универсальных ЭВМ для АИС являются «Нейрон И9.66», «Искра 226/6», устройство управления и обработки данных 908 и др. Все они имеют адаптер КОП (в устройстве 908 таких адаптеров два) и соответствующее программное обеспечение. Устройство 908 обеспечивает наиболее широкие возможности по работе с модулями АИС: реализацию всех интерфейсных



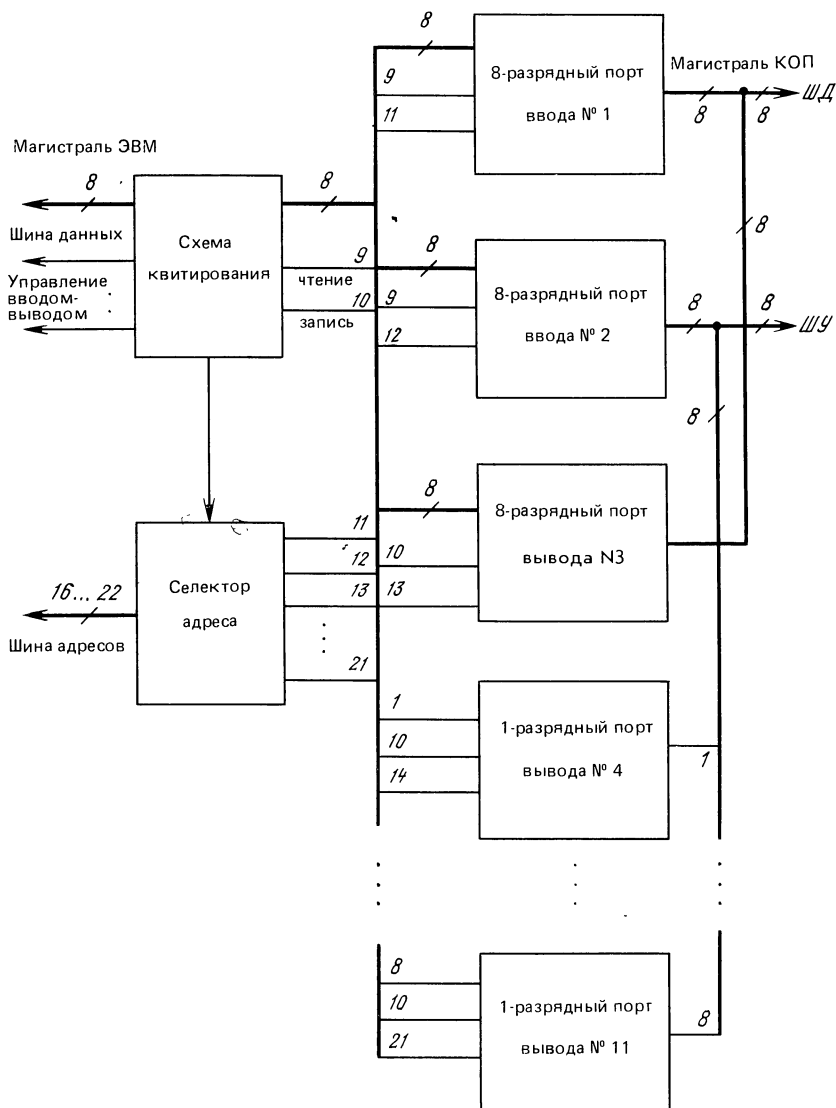


Рис. 4.3. Структурная схема универсального адаптера КОП

функций; доступ к каналу КОП из всех реализованных в ЭВМ языков (Фортран, Бейсик, Ассемблер); высокую скорость обмена (около 40 Кбайт/с); возможность реализации сетей на КОП и т. п.

Большой парк универсальных ЭВМ, поддерживающих интерфейс КОП, выпускается за рубежом, например HP-85, HP-86 Touchscreen II, Vectra (Hewlett-Packard, США), 1720A, 1722A (Fluke, США), PUC, PCA5, PCA12 (Rohde & Schwarz, ФРГ), 4041 (Tektronix, США). Их основные характеристики: объем

ОЗУ 128...1024 Кбайт, внешняя память 400...4000 Кбайт, полный набор периферийных устройств, масса 10...20 кг, язык программирования — Бейсик (реже — Фортран, PL, Паскаль, Си).

Ряд широко распространенных отечественных универсальных ЭВМ (от бытовых до мини-ЭВМ), таких как ДВК-2, -2М, -3, СМ1800, СМ1810, «Искра 1030», ЕС1840, «Электроника БК0010», «Сура», ПК8001, СМ1420, не имеют средств поддержки интерфейса КОП. Их использование в АИС возможно только после оснащения соответствующим адаптером и программным обеспечением.

## **4.2. Универсальный метод сопряжения ЭВМ с интерфейсом КОП**

### **4.2.1. Адаптер ЭВМ — КОП**

При реализации интерфейсных функций в ЭВМ возможны два подхода. Первый, более сложный, — копирование существующих адаптеров. Такой метод требует больших затрат времени.

Второй подход [49] доступен любому пользователю и обусловлен особенностями интерфейса КОП: относительно небольшим числом информационных линий (16) и асинхронным способом обмена данными. Суть метода — минимум аппаратных затрат, необходимых только для электрического согласования внутреннего интерфейса ЭВМ и интерфейса КОП.

С точки зрения простейшего подхода адаптер КОП представляет собой (рис. 4.3) два восьмиразрядных порта ввода или один 16-разрядный (в случае 16- и более разрядной ЭВМ), один восьмиразрядный регистр выдачи и восемь одноразрядных регистров выдачи, т. е. всего 11(10) портов ввода-вывода. Для выбора требуемого порта необходим обычный селектор адресов, а для синхронизации — стандартная для данной ЭВМ схема квитирования.

Таким образом, задавая 0 или 1 в соответствующих разрядах на шине данных ЭВМ и направляя эту информацию в соответствующий порт адаптера, можно получить любую необходимую комбинацию состояний линий, обеспечивающую реализацию той или иной функции интерфейса КОП. Скорость обмена по КОП в простейшем адаптере зависит от типа используемого в ЭВМ центрального процессора, системы команд и тактовой частоты. В среднем она равна 3...15 кбайт/с, что приемлемо для большинства пользователей и позволяет достигать скоростей 500...2000 измерений в секунду.

Использование БИС КР580ВВ55А (рис. 4.4) в режиме «0» уменьшает число портов ввода-вывода с 10 или 11 до 4 или 5 (8- или 16-разрядная ЭВМ), так как восемь одноразрядных портов вывода заменяются одним восьмиразрядным (порт С), в котором допускается раздельное независимое управление каждым битом.

Если в состав ЭВМ входит параллельный интерфейс ИРПР, то аппаратное обеспечение модуля КОП можно еще больше упростить (рис. 4.5). Недостатком такой схемы является усложнение программного обеспечения и уменьшение производительности КОП, так как перед выдачей в любую линию требуемого уровня необходимо сначала проанализировать, а затем повторить состояния остальных. Повторение низкого уровня должно выполняться только по тем линиям, которые в настоящий момент захвачены ЭВМ, а не другими модулями АИС.

### **4.2.2. Программное обеспечение**

Программное обеспечение для универсального адаптера КОП состоит из двух частей. К первой относится набор программных средств, выполняющих следующие обязательные функции:

выдача высоких и низких состояний в любую из линий шин управления и синхронизации;

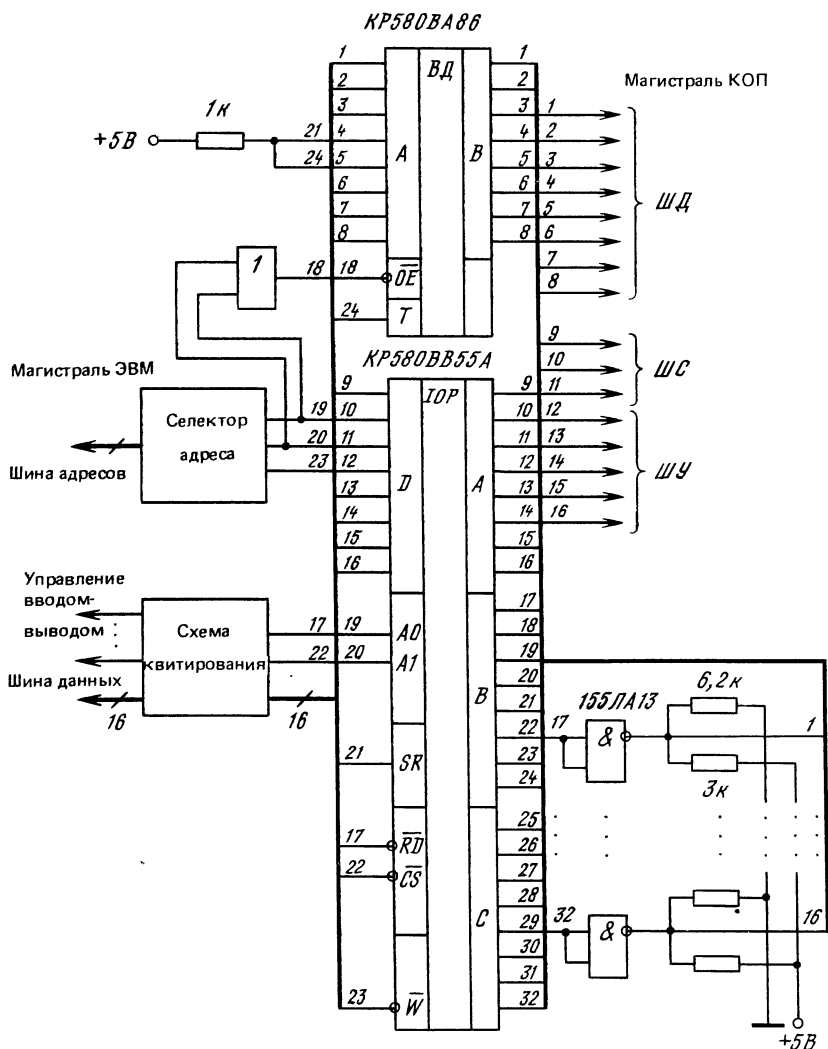


Рис. 4.4. Схема простейшего адаптера КОП на основе БИС КР580ВВ55А

чтение состояний этих линий;  
чтение и выдача байта данных в ШД.

Обычно все это априори обеспечивается набором команд центрального процессора. Дополнительными функциями являются прием и передача байта данных в соответствии с требованиями интерфейса КОП, а также текстов (различных последовательностей байтов). В целях наиболее эффективного использования ресурсов ЭВМ данные программы целесообразно реализовывать как драйверы КОП.

Вторая часть программного обеспечения содержит расширение имеющегося в ЭВМ языка высокого уровня программами обработки группы дополнительных операторов, ориентированных на КОП, которые должны обеспечить возможность

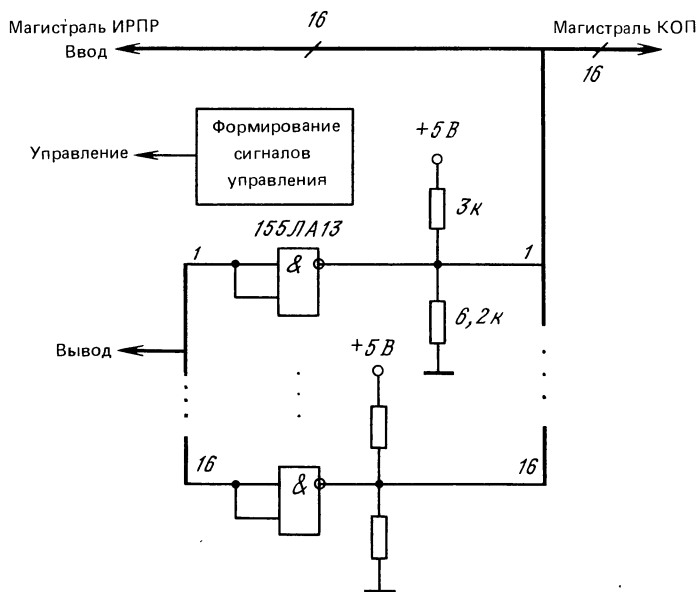


Рис. 4.5. Схема адаптера ИРПР-КОП

эффективной работы пользователя с интерфейсом. Эти операторы являются интерфейсно-ориентированными, т. е. работающими в терминах интерфейса КОП. На их основе можно разрабатывать проблемно-ориентированные языки, предназначенные для описания задач контроля в виде, удобном для пользователя, например ОКА [42] или специализированные пакеты (см. приложение).

Стержневым вопросом второй части программного обеспечения является определение состава и назначения операторов для поддержки модуля КОП. С одной стороны, необходимо, чтобы они были понятны широкому кругу пользователей, а с другой — не ограничивали возможности интерфейса. Этим требованиям отвечает набор из следующих семи операторов (имена их принципиального значения не имеют и в конкретных реализациях могут быть изменены):

- INIT — инициализация интерфейса КОП в начале работы (одновременно может осуществляться инициализация драйвера);
- TLK — передача информации в КОП с выполнением правил адресации и синхронизации;
- LSN — то же, только по отношению к приему информации из КОП;
- LIN — установка линий в КОП в активное или пассивное состояние;
- PRI — чтение состояний линий КОП;
- SRQ — прием от прибора БСТ с выполнением правил адресации и синхронизации;
- TIMEOUT — установление временного интервала, в течение которого ожидается отклик со стороны прибора при синхронизации приема и передачи байта.

Ниже приведены алгоритмы реализации этих операторов. Синтаксические диаграммы и расположение операндов (рис. 4.6) в отличие от алгоритмов являются частным примером и могут изменяться. Программы, реализующие операторы TLK, LSN и SRQ, используют подпрограммы приема и передачи одного байта информации из КОП и в КОП. Алгоритмы этих подпрограмм следующие.

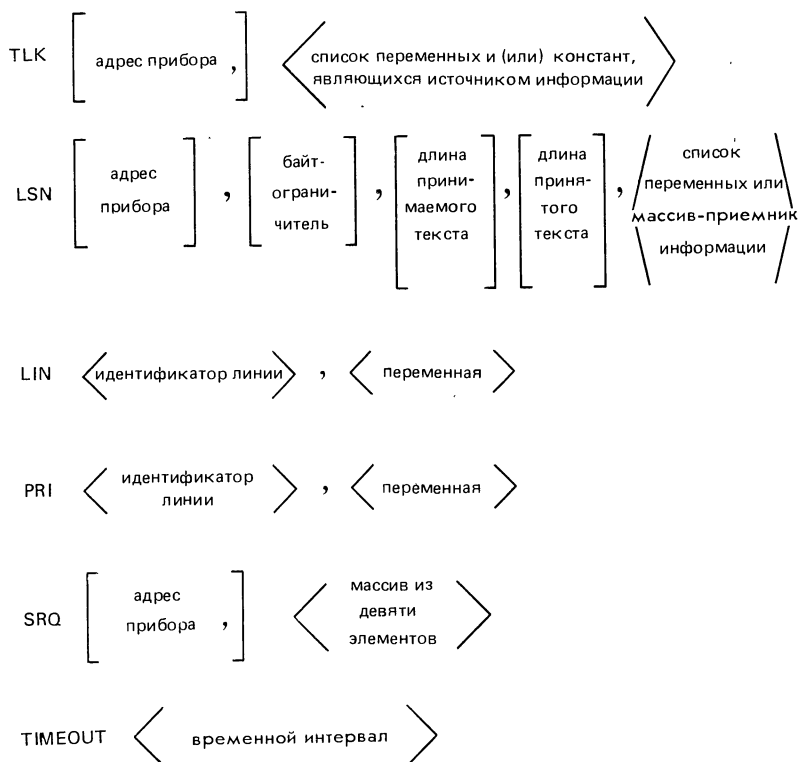


Рис. 4.6. Синтаксические диаграммы операторов для работы с КОП

#### Подпрограмма PRB — прием байта из КОП

1. Перевод линии ГП в высокое.
2. Ожидание низкого СД.
3. Перевод ГП в низкое.
4. Считывание байта данных с ШД
5. Сохранение состояния линии КП.
6. Перевод ДП в высокое.
7. Ожидание высокого СД.
8. Перевод ДП в низкое.

#### Подпрограмма PERB — передача байта в КОП

1. Ожидание выхода модуля на цикл приема (низкое в ГП, или в ДП, или в обеих линиях).
2. Установка БТД на ШД.
3. Обработка задержки не менее 2 мкс.
4. Ожидание высокого ГП и низкого ДП одновременно.
5. Установка СД в низкое.
6. Ожидание низкого ГП и высокого ДП одновременно.
7. Установка СД в высокое.

Если при всех ожиданиях (шаги 2 и 7 в подпрограмме PRB и 1, 4, 6 в подпрограмме PERB) отклик не приходит в течение времени, установленного оператором TIMEOUT (см. рис. 4.6), управление передается на обработку ошибок и означает сбой синхронизации.

Оператор INIT осуществляет установку всех линий интерфейса со стороны ЭВМ в высокое и выдает низкое ОИ в течение 100 мкс или более

для приведения интерфейса в исходное со стороны приборов. Он используется в начале управляющей программы АИС, а также на выходах подпрограмм обработки сбойных ситуаций КОП.

Оператор TLK осуществляет передачу прибору, имеющему в КОП адрес <адрес прибора> (см. рис. 4.6), последовательности байтов из ЭВМ. Расположение исходной информации в ЭВМ может быть произвольным, включающим и целые, и строковые, и байтовые массивы, и наборы переменных и констант. Алгоритм работы оператора TLK:

1. Перевод УП в низкое.
2. Передача в КОП байтов, соответствующих кодам команд НПД, НПМ и МАП, посредством подпрограммы PERB.
3. Перевод УП в высокое.
4. Последовательная передача байтов из источников информации ЭВМ в КОП с помощью подпрограммы PERB. Последний передаваемый байт сопровождается низким КП.
5. Перевод УП в низкое.
6. Передача НПМ с помощью подпрограммы PERB.
7. Перевод УП в высокое.

Если в операторе TLK опущен первый операнд (так называемая безадресная передача), то выполняется только шаг 4, при этом последний байт не сопровождается низким КП.

Оператор LSN осуществляет прием информации от модуля в ЭВМ. Адрес источника задается первым операндом. Размещение принимаемых данных в ЭВМ произвольно (по аналогии с TLK) и определяется программистом. Операнд <байт-ограничитель> указывает на байт, получение которого из КОП является признаком завершения цикла приема. Операнд <длина принимаемого текста> содержит данные, определяющие максимальное число принимаемых байтов, если раньше не встретились другие признаки окончания передачи. Процесс приема-передачи может быть закончен либо при совпадении очередного принятого байта с байтом-ограничителем, либо по принятии в ЭВМ указанного в поле <число принимаемых байтов> количества принимаемых байтов. Прием-передача всегда заканчивается также при обнаружении низкого уровня линии КП вместе с принятием очередного байта. Операнды <байт ограничитель> и <длина принимаемого текста> могут опускаться. В этом случае соответствующий операнду анализ не производится. Операнд <длина принятого текста> идентифицирует переменную, в которой возвращается число принятых байтов. Он необязателен, если существуют другие методы идентификации этого числа. Алгоритм работы оператора LSN:

1. Перевод УП в низкое.
2. С помощью подпрограммы PERB передача в КОП команд НПД, НПМ, МАИ.
3. Перевод ГП и ДП в низкое.
4. «Очистка» ШД со стороны ЭВМ (установка ЛД7—ЛД0 в высокое).
5. Перевод УП в высокое.
6. Последовательный прием байтов из КОП с помощью подпрограммы PRB до тех пор, пока не выполнится одно из трех условий: прием очередного байта сопровождается «низким» КП; в принимаемой информации встретился байт-ограничитель; число принятых байтов стало равным числу, заданному в третьем операнде.
7. Перевод УП в низкое.
8. Перевод ГП и ДП в высокое.
9. Передача в КОП команды НПД.
10. Перевод УП в высокое.

Если в операторе LSN опущен первый операнд (так называемый «безадресный» прием), то выполняется только шаг 6. На этом же шаге алгоритма производятся также синтаксический анализ принятого сообщения и присвоения указанным в последнем операнде переменным или элементам массива числовых, символьных и других значений.

Оператор LIN осуществляет установку линии КОП, идентифицированную операндом <идентификатор линии>, в высокое или низкое состояние в зависимости

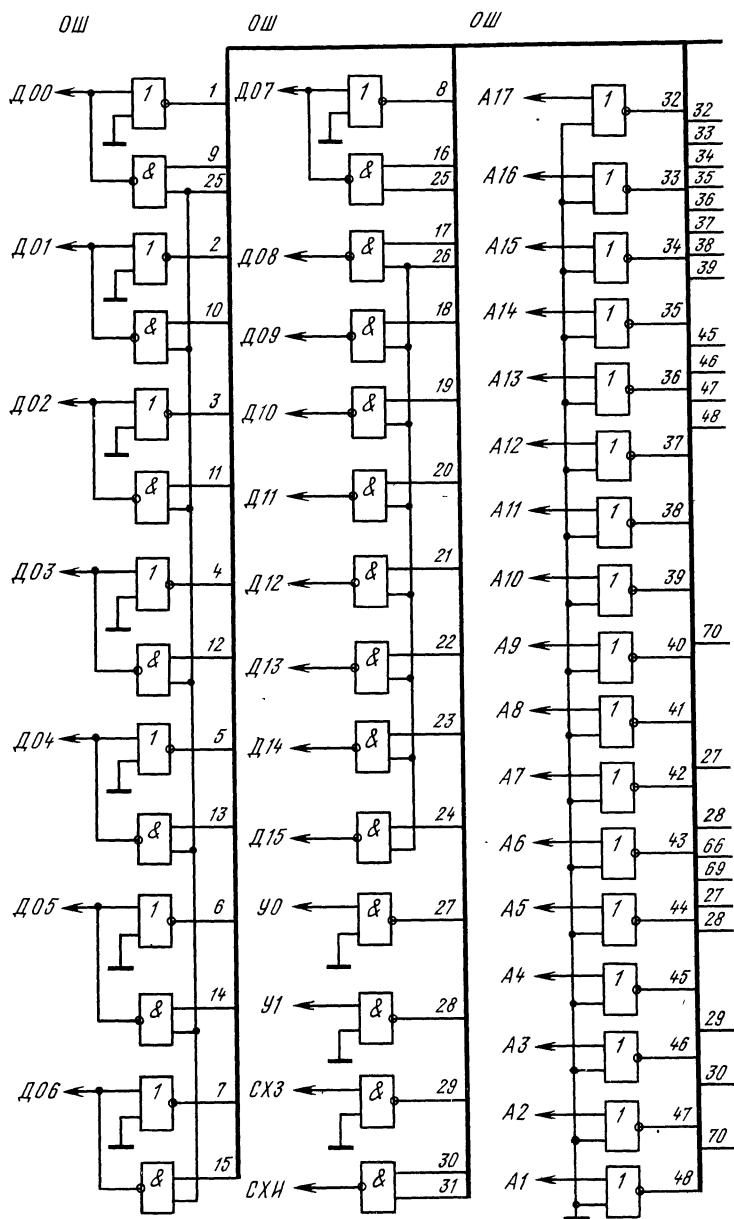
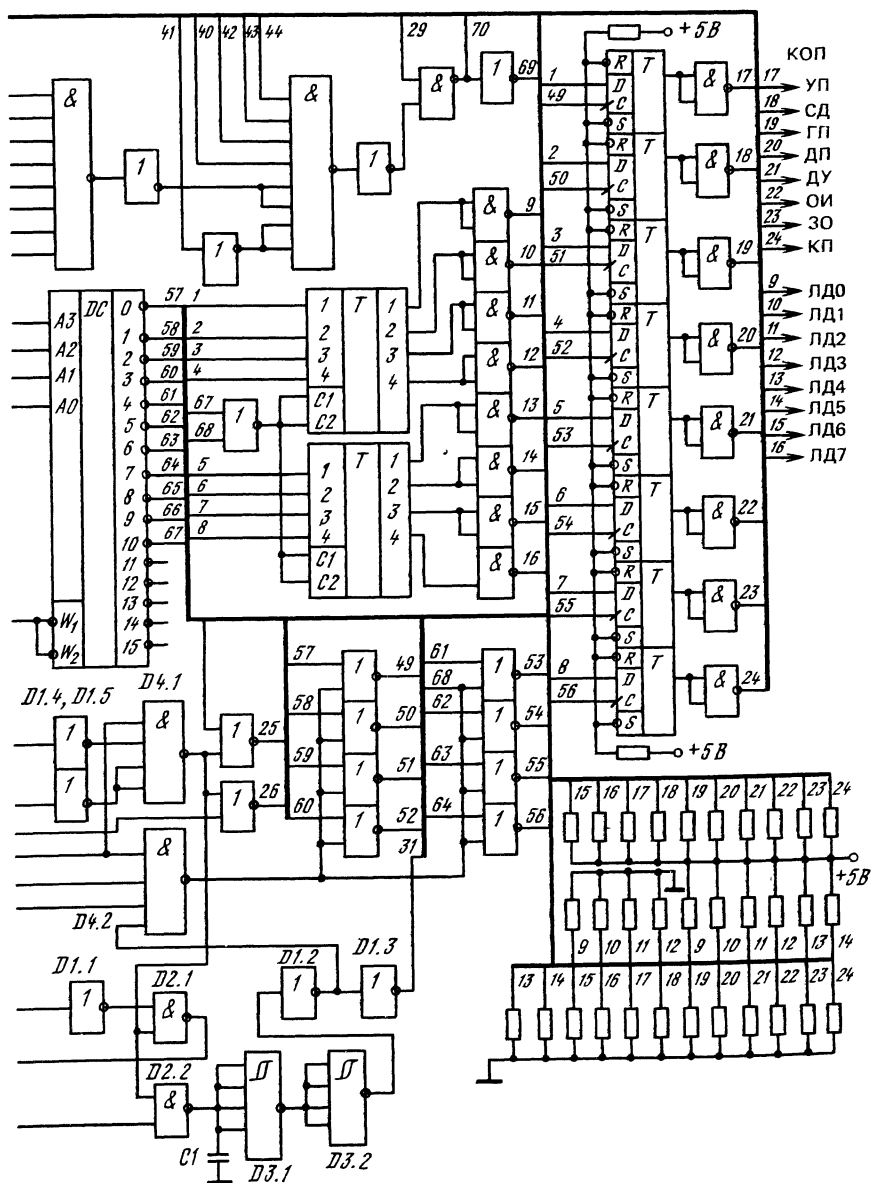


Рис. 4.7. Схема адаптера ОШ-КОП





от значения операнда <состояние>. Если первым операндом идентифицирована ШД, то в нее записывается байт данных, определяемый вторым операндом.

Оператор PRI осуществляет присвоение <переменной> нуля или единицы в зависимости от состояния линии управления или синхронизации КОП, определенной операндом <идентификатор линии>, либо возвращает <переменной> байт, отражающий состояние ШД в данный момент, если <идентификатор линии> указывает на ШД.

Оператор SRQ принимает от прибора, имеющего адрес <адрес прибора>, байт состояния, который затем в целях более удобного анализа побитно распаковывается в восьми элементах массива, определенного вторым операндом, и возвращается целиком в девятом элементе массива. Алгоритм работы оператора SRQ:

1. Перевод УП в низкое.
2. Передача в КОП команд НПМ, НПД, ОПО, МАИ с помощью подпрограммы PERB.
3. Перевод ГП и ДП в низкое.
4. Перевод ЛД7—ЛД0 в высокое.
5. Перевод УП в высокое.
6. Прием с помощью подпрограммы PRB одного байта, который и является БСТ, и присвоение соответствующих значений элементам массива, заданного вторым операндом.
7. Перевод УП в низкое.
8. Перевод ГП и ДП в высокое.
9. Передача в КОП команд НПД и ЗПО с помощью подпрограммы PERB.
10. Перевод УП в высокое.

Если операнд <адрес прибора> отсутствует, то выполняется только асинхронное чтение ШД и распаковка прочитанного байта в массив.

С помощью семи описанных операторов можно реализовать любой режим работы с КОП. Минимально необходимым набором являются операторы LIN и PRI, которые входят в состав каждого алгоритмического языка, например INPUT, OUTPUT, PRINT, WRITE, READ, ENTER. Однако их использование без TLK, LSN и SRQ сделает управляющие программы АИС «нечитаемыми», значительно снизит производительность системы, потребует высокой квалификации программистов в области интерфейса КОП.

Возможна и другая крайность—создание большого числа КОП-ориентированных операторов. Почему бы не ввести, например, оператор GET [адрес прибора], предназначенный для посылки команды ЗАП выбранному модулю, или оператор CLEAR [адрес прибора], выполняющий передачу СБУ или СБА? Очевидно, что все это чуть менее наглядно и эффективно выполняется базовым набором из семи операторов, например взамен GET используются LIN <идентификатор УП>, <низкое>; TLK <константа, равная МАП>, <константа, равная ЗАП>; LIN <идентификатор УП>, <высокое>, т. е. обычная безадресная передача.

К универсальному методу сопряжения ЭВМ с КОП относятся только рассмотренные семь операторов. Любое их уменьшение дает резкое снижение эффективности программного обеспечения, любое увеличение—незначительный выигрыш в наглядности, скорости и т. д.

### 4.2.3. Сопряжение с ЭВМ СМ1403

Особенностью адаптера ОШ/КОП (ОШ—обозначение интерфейса «общая шина», используемого в мини-ЭВМ классов СМ3, СМ4), как и любого другого под конкретный интерфейс ЭВМ, является блок квитирования (рис. 4.7), в частности для формирования сигнала «синхронизация исполнителя» (СХИ) по правилам интерфейса ОШ. Сигнал СХИ необходим для обеспечения синхронности обмена информацией между центральным процессором СМ1403 и адаптером ОШ/КОП. Плата адаптера может быть установлена на свободном месте в блоке расширителя или в раме вторичного источника питания стойки накопителей на магнитном диске.

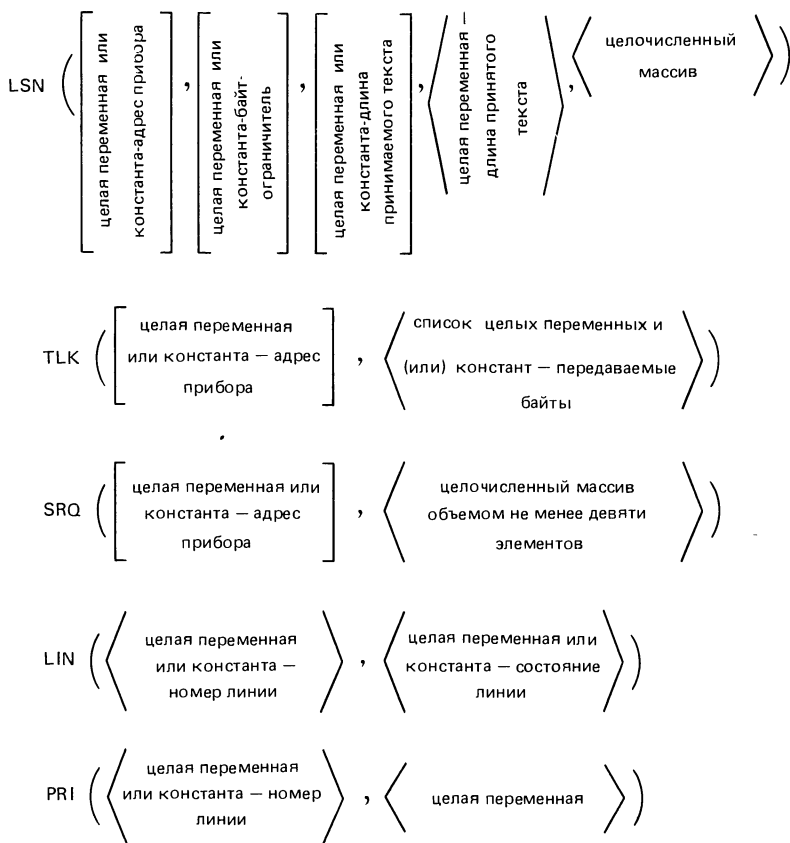


Рис. 4.8. Синтаксические диаграммы операторов языка Фортран-4 ОС РВ СМ3—СМ1420 для работы с КОП

Программное обеспечение адаптера ОШ/КОП также выполняется в соответствии с методикой универсального метода и является расширением языка Фортран-4, работающего под управлением ОС РВ для ЭВМ серий СМ3—СМ1420. Оно включает в себя драйвер КОП, вводимый в состав операционной системы при генерации, и ряд новых, ориентированных на КОП, библиотечных подпрограмм. Синтаксические диаграммы операторов, которые реализуются этими подпрограммами (рис. 4.8), по мнемонике и семантике практически полностью совпадают с рассмотренными в 4.2.2 и поэтому не требуют дополнительных комментариев. Пример пользовательской программы, выполняющей программирование режима однократных измерений, запуска и приема данных осциллографа С1-122, приведен ниже.

INTEGER A, M (1024)

TLK (0, 111, 100, 110, 111, 107, 114, 44, 107, 114, 105, 119, 97, 113, 63, 13, 10)

LSN (0, 1024, A, M)

(в КОП прибору с адресом 0 передается [ОДНОКР, КРИВАЯ ? ВК ПС], а в М (1)...М (1024) возвращается массив принятых значений).

В операторах TLK и LSN не используются символьные переменные, что обусловлено отсутствием в языке Фортран-4 средств их описания и обработки.

Время ожидания отклика от приборов принято постоянным и устанавливается при генерации ОС в любом диапазоне. Подпрограммы, расширяющие Фортран-4, оформляются на Ассемблере в виде модуля с несколькими точками входа, обозначенными именами соответствующих операторов. Программы реализуют: пересылку данных, получаемых из списка адресов параметров, в буфер входных данных драйвера; формирование соответствующего оператору кода запросов; вызов драйвера; обратную пересылку данных, получаемых из драйвера, в структуру данных Фортран-4, обработку кода завершения операции ввода-вывода. Основная функция подпрограммы расширения — обеспечение связи языка Фортран-4 и драйвера КОП.

Алгоритмы, реализующие выполнение ориентированных на КОП операторов, обрабатываются в драйвере, что обеспечивает скорость приема-передачи 8...12 кбайт/с. Драйвер состоит из трех функциональных частей: системных подпрограмм, обеспечивающих его согласование с ОС в соответствии с требованиями к написанию драйверов, шести основных подпрограмм, реализующих алгоритмы выполнения соответствующих операторов, и двух общих подпрограмм приема и передачи одного байта. Аналогично универсальный метод сопряжения может быть реализован в других ЭВМ, имеющих компиляторы языков высокого уровня.

Встраивание операторов КОП в интерпретаторы имеет принципиальные отличия. Использование встроенных средств интерпретаторов чрезвычайно просто и доступен пользователю, но не обеспечивает высокие скорости обмена, так как большая часть времени тратится на интерпретацию строк и команд.

Более сложно (сложнее, чем для компиляторов) осуществляется расширение интерфейсов по концепции «ядро плюс модули» (см. 4.2.4). В таком случае скорости обмена по КОП становятся сравнимы с расширением компиляторов.

Программное обеспечение адаптера ОШ/КОП для ОС ДИАМС построено на основе команды VIEW и функции VIEW. Эти средства позволяют пользователю работать с физическими адресами памяти и по отношению к КОП являются аналогами операторов LIN и PRI. На их основе реализуются все остальные: TLK, INIT, LSN и SRQ. Ниже приводится пример пользовательской программы, рассмотренной выше для осциллографа C1-122, на входном языке ОС ДИАМС.

```
S□I1=0,12="ОДНОКР. КРИВАЯ?", 13, 10
```

```
D□TLK
```

```
S□I2=0, 13=255
```

```
F□S4=1:1:4□D□LSN□S□16 (S4)=15
```

#### 4.2.4. Сопряжение с ЭВМ СМ1800 при использовании языка Бейсик-80

Схема упрощенного адаптера И41/КОП (И41 — системный интерфейс микроЭВМ СМ1800) приведена на рис. 4.9. В соответствии с принятым подходом к сопряжению ЭВМ с КОП она обеспечивает чтение текущих состояний всех линий КОП (два порта) и выдачу в них же уровней TTL-сигналов (девять портов). Адаптер предназначен для работы только под управлением ДОС СМ1800 (ISIS-II).

Программное обеспечение модуля КОП состоит из двух частей. К первой относится набор подпрограмм, выполняющих следующие функции: выдача уровней сигналов в любую из шин управления и синхронизации; чтение состояний этих линий; чтение и выдача байта данных; обработка функций СИ и СП, прием и передача байтов и текстов. Вторая часть программного обеспечения содержит расширение языка Бейсик-80 программами обработки инструкций, ориентированных на КОП, а именно: операторов LIN, TLK, LSN, FIG, SRQ, OUT и функций PRI и LIN.

Перед созданием расширения в интерпретаторе языка Бейсик-80 необходимо изменить словарную структуру, добавив требуемые семантические формы и адреса

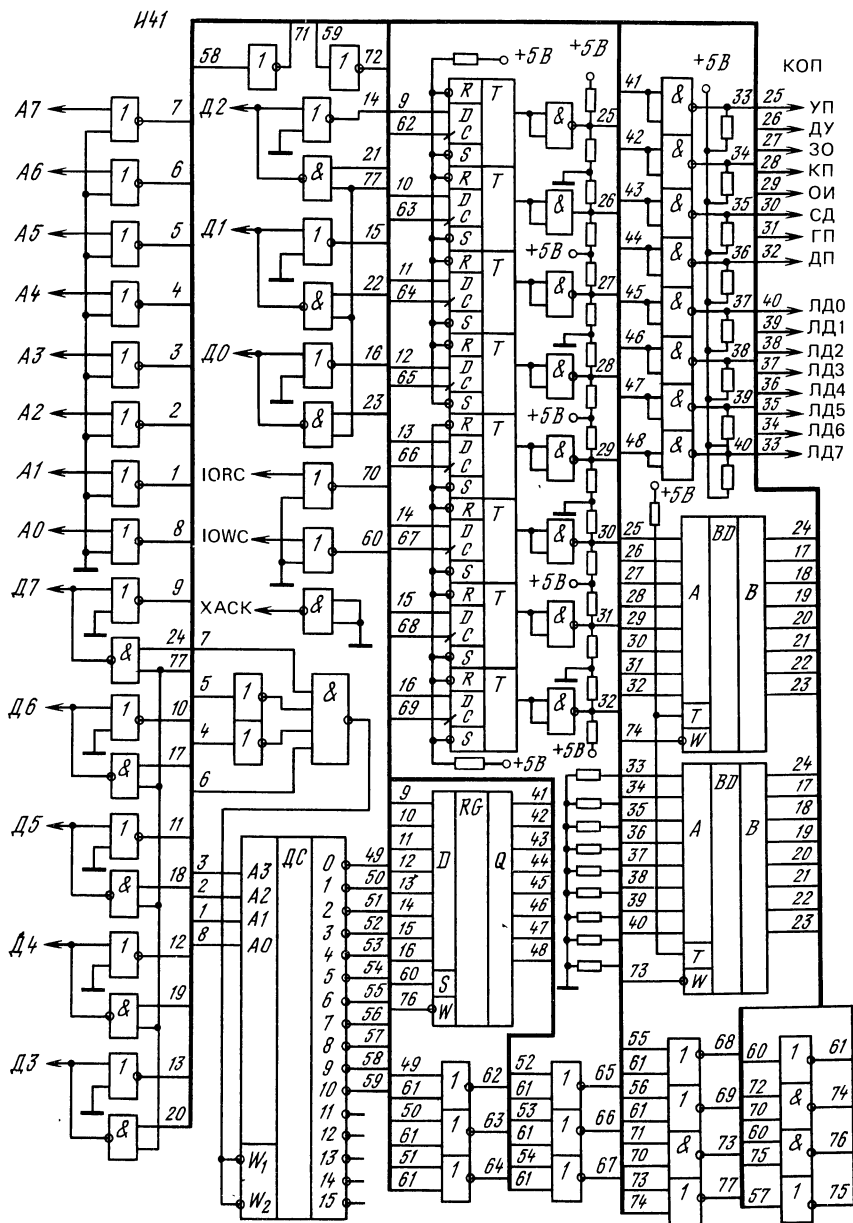


Рис. 4.9. Схема упрощенного адаптера И41-КОП

переходов на их исполнение, а также зарезервировать память для размещения расширения. Приводимый вариант расширения может располагаться в адресах 0E400H—0EEFFH и должен содержать таблицу связей с различными точками входа в Бейсик-80 ДОС CM1800. Целесообразно, чтобы точки входа в расширение Бейсика-80 ДОС CM1800 совпадали с метками по именам операторов и функций.

Синтаксис и семантика инструкций, ориентированных на КОП, отличаются от рассмотренных в 4.2.2, так как средства интерпретаторов позволяют обеспечить их наиболее наглядную форму представления.

## Оператор LIN

	$\text{LIN} \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{линия} \rangle \langle \text{уровень} \rangle [; \langle \text{линия} \rangle \langle \text{уровень} \rangle], \\ \text{B} = \langle \text{байт} \rangle; \end{array} \right.$
$\langle \text{линия} \rangle$	— идентификатор, определяющий одну из линий управления или синхронизации (каждой линии однозначно соответствует буква латинского алфавита, как показано в табл. 4.1);
$\langle \text{уровень} \rangle$	— идентификатор, определяющий состояние линии (может принимать значения ноль и единица, которые определяют перевод указанной линии в низкое или высокое соответственно;
$\langle \text{байт} \rangle$	— устанавливаемый на ШД байт данных (может быть задан целой константой, целой переменной по модулю 256, литералом или первым символом строковой переменной).

Разделителем в одном операторе LIN является символ.

Примеры:

10 LIN U0	перевод УП в низкое
20 LING0; P0; U1	перевод ГП и ДП в низкое, а УП в высокое
30 LIN B=0	установка БТД, равного нулю
40 I=13	
50 LIN B=I	установка БТД, равного 00001011B
60 LIN B="A"	установка БТД, равного 01000001B
70 A $\boxtimes$ =BCD	
80 LIN B=A $\boxtimes$	установка БТД, равного 01000010B

## Оператор TLK

$$\text{TLK} [\#N,] \langle \text{список} \rangle \left\{ \begin{array}{l} [;] \\ [; \langle \text{последний байт} \rangle], \end{array} \right.$$

где  $[\#N,]$ —идентификатор адреса; N—целая константа или переменная в диапазоне от 0 до 30, указывающая адрес прибора, которому передаются данные (отсутствие идентификатора соответствует «безадресной» передаче);  $\langle \text{список} \rangle$ —передаваемые данные. Элементами списка могут быть любые выражения, переменные и константы Бейсика-80.

Элементы списка разделяются запятой. Отсутствие символа «;» в конце оператора вызывает добавление к списку передаваемых данных байта ПС. Наличие этого символа вызывает либо отмену добавления, либо добавление вместо ПС байта, указанного в идентификаторе  $\langle \text{последний байт} \rangle$ . Примеры:

10 TLK #I, "392131"	передача прибору с адресом 00001B сообщения  392131 ПС
20 TLK " ! ", 8	передача в КОП байтов 21H и 08H
30 B $\boxtimes$ ="R8M2"	
40 TLK 2, W $\boxtimes$ , 42	передача прибору с адресом 00010H сообщения  R8M2*

Соответствие идентификаторов &lt;линия&gt; линиям КОП

<линия>	Линия КОП	<линия>	Линия КОП
U	УП	G	ГП
K	КП	P	ДП
D	ДУ	Z	ЗО
S	СД	O	ОИ

Оператор LSN

$$\text{LSN}[\#N,] \left\{ \begin{array}{l} [\text{TO } \langle \text{длина} \rangle,] \\ \text{ON } \langle \text{целая переменная} \rangle, \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \langle \text{переменная} \rangle \\ \langle \text{список переменных} \rangle \end{array} \right. \langle \text{целая индексированная переменная} \rangle,$$

где <переменная>—имя переменной, в которой возвращается принимаемая информация (если переменная символьная, то все данные, поступившие от модуля или из КОП, остаются в ней, если числовая—то только цифровое значение, содержащееся в поступающей информации);

<длина>—определение количества принимаемых байтов;

<целая переменная>—число байтов, принимаемых в массив, указанный <целой индексированной переменной>;

<целая индексированная переменная>—указание элемента массива, начиная с которого информация будет последовательно принята в массив.

Оператор LSN принимает информацию до выполнения любого из трех условий: приема низкого КП, байта, определенного оператором FIG, или назначенного числа байтов, но не более 128. Вариант использования LSN с операндом ON по умолчанию отменяет анализ на последний байт (оператор FIG), а также допускает прием любого количества байтов, в том числе больше 128.

Пусть принятая информация содержит байт 2CH (код запятой), который является ограничителем ОД1. Тогда, если в спецификации оператора LSN указана только одна переменная, ей будет присвоено значение, содержащееся в информации до запятой. Если переменных несколько, то в каждой из них остаются данные от предыдущей запятой до следующей. Наличие лишних переменных в операторе LSN не приводит к ошибкам. Примеры:

10 LSN #2, A ⌘	прием данных от прибора с адресом 2
20 LSN #2, TO ⌘5,1	прием 5 байтов от прибора с адресом 2
30 DEFINT I	
40 I1=1000	
50 LSN #2, ON ⌘I1,I2(5)	прием 1000 байтов и размещение их в массиве 12 с 5-го до 1004-го элемента.

Использование безадресного приема позволяет принимать больше 128 байтов, не используя конструкцию LSN ON, например:

```

10 FOR I=1 TO 10
20 LSN TO 100, A ⌘
30 B ⌘ (I)=A ⌘
40 NEXT I

```

На выходе из оператора LSN без адреса линии ГП и ДП остаются в низком, обеспечивая кратковременное синхронное прерывание передачи у модуля.

Оператор FIG

FIG [байт],

Таблица 4.2

## Соответствие битов в БСТ элементам массива в операторе SRQ

Номер элемента массива, начиная с 1	Бит в БСТ	Номер элемента массива, начиная с 1	Бит в БСТ
I	ЛД0	I+5	ЛД5
I+1	ЛД1	I+6	ЛД6 (ОБЗ)
I+2	ЛД2	I+7	ЛД7
I+3	ЛД3	I+8	Код БСТ целиком
I+4	ЛД4		

где [байт]—байт, до которого ведется прием в операторе LSN. Отсутствие операнда в операторе FIG означает отмену анализа на последний байт в LSN. По умолчанию в расширении Бейсика-80 целесообразно предусматривать байт 0АН (ПС).

## Оператор SRQ

SRQ [#N,] <целая индексированная переменная>, где <целая индексированная переменная>—определение массива, в который будут возвращены значения БСТ в соответствии с табл. 4.2. Пример:

```
10 DEFINT M           прием БСТ от прибора с адресом 00100В и присвоение
20 SRQ#4,M(3)         элементам M(3)...M(11) значений, соответствующих
                       битам в этом БСТ.
```

## Оператор AUT

AUT <число>,

где <число>—время, равное 1...255 с, в течение которого осуществляется ожидание откликов со стороны модулей КОП при приеме и передаче байтов.

## Функция PRI

PRI <линия>

Результатом работы функции PRI является 0, если линия КОП, определенная операндом <линия> (см. табл. 4.1), находится в низком, и 1, если в высоком.

Кроме основного назначения функция PRI имеет еще три дополнительные конструкции:

PRI(L)—возвращается 0, если на приеме в операторе LSN последний байт сопровождался низким КП, иначе 1;

PRI(B)—возвращается байт, отражающий код текущего состояния ШД;

PRI (<состояние>, <время>)—применяется для ожидания наступления состояний в линиях ГП и ДП за время, определяемое вторым операндом.

Перечень реализованных состояний приведен в табл. 4.3. Результат выполнения функции равен 0, если состояние наступает за отведенное время, и 1 в противном случае. Примеры:

```
10 A=PRI(U)
20 PRINT PRI(Z)
30 IF PRI (L)=0 THEN STOP
40 I=PRI (B)
50 F=PRI (X)
60 F=PRI (X, 10),           время ожидания 10 с.
```

## Функция LIN

В отличие от оператора LIN данная функция позволяет передать в КОП один байт информации в соответствии с правилами приема-передачи интерфейса. Результатом выполнения функции является:

## Соответствие идентификаторов &lt;состояние&gt; в функции PRI состояниям линий КОП

Идентификатор <состояние>	Состояние линии КОП		Состояние функции СП
	ГП	ДП	
N	Низкое	Низкое	СПНГ
A	»	Высокое	СПОЦ
R	Высокое	Низкое	СПГТ
X	»	Высокое	СПХХ
Y	Любое	Низкое	СПНГ или СПГТ
E	Хотя бы одна в низком		

0—при передаче без сбоев;

1—нет перехода на цикл приема (ГП и ДП одновременно в высоком);

2—нет перехода из СПНГ в СПГТ;

3—нет перехода из СПРМ в СПОЦ;

4—нет перехода из СПОЦ в СПНГ или СПГТ.

Пример:

10 PRINT LIN («?»)                      передача по КОП кода команды НПМ.

На расширенном Бейсике-80 для СИ800 пример работы с осциллографом  
C1-122, описанный ранее на Фортране-4 и Диамсе, имеет вид

10 DEFINT I

20 I1 = 1024

30 TLK #0 «ОДНОКР, КРИВАЯ?»

40 LSN #0, ONI 1, I2 (1)

С помощью подобного расширения просто и удобно не только работать с модулями АИС при создании управляющей программы, но и конструировать тестовые программы диагностики интерфейса КОП в приборах (см. § 2.5).

### 4.3. Элементы работы КОП в мультитерминальных и мультипрограммных режимах

Применение в АИС операционных систем, поддерживающих многозадачный режим, невозможно без синхронизации использования интерфейса КОП между несколькими одновременно работающими программами, т. е. организации интерфейса как стандартного канала ввода-вывода ЭВМ.

Анализ протокола обмена интерфейса КОП показывает невозможность параллельной и независимой работы модулей АИС, управляемых разными программами одновременно. Поэтому необходимо определить требования по разграничению использования интерфейса КОП между программами во времени. Это можно сделать, выделив минимальные блоки информации (далее будем называть их критическими), которые нужно передать без вмешательства в КОП других программ. При этом КОП необходимо рассматривать как критический ресурс, владеть которым на время передачи такого блока информации может только одна программа.

Критическим блоком информации в КОП должен быть такой минимальный набор передаваемых и принимаемых сообщений (байтов, кодов), который выполняет логически завершенную функцию в КОП и определяется следующим правилом: любое вмешательство в линии КОП в процессе передачи критического блока информации может сказаться на результате работы, а любая работа с КОП до и после передачи на результат не влияет.

Логически завершенная функция работы с КОП представляет собой функцию либо передачи информации (байтов) в КОП, либо ее приема из КОП (рис. 4.10).



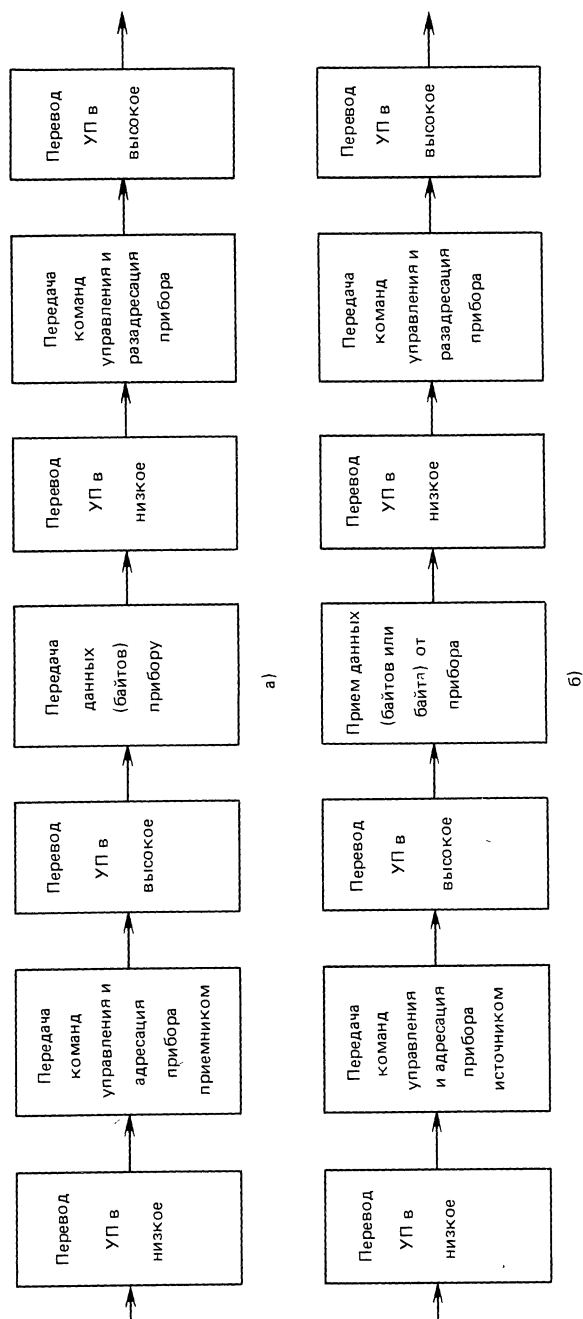


Рис. 4.10. Последовательность операций обмена информацией по КОП при ее передаче (а) и приеме (б)

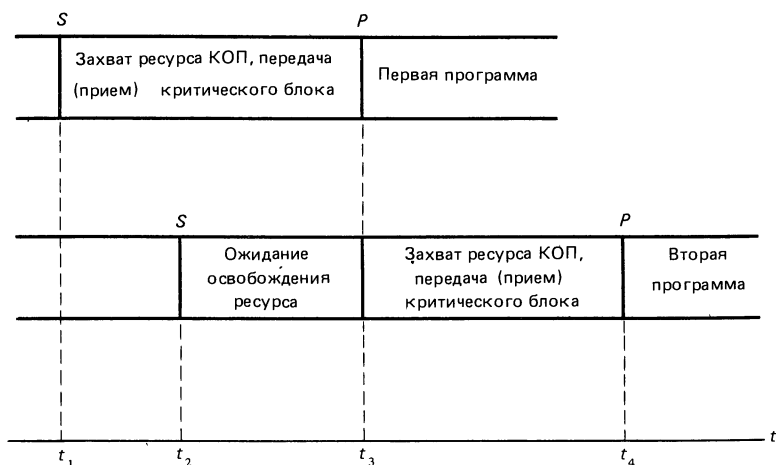


Рис. 4.11. Временная диаграмма работы с КОП двух программ:

S—операция захвата ресурса КОП или постановки в очередь к ресурсу КОП, P—операция освобождения ресурса КОП

Все режимы командного управления в КОП, а также данные, полученные в этом режиме, являются частными случаями приема и передачи байтов, а критический блок—это последовательность байтов, осуществляющих сеанс связи с прибором (начиная с адресации прибора и кончая его разадресацией).

Перед тем как работать с прибором (передавать ему или принимать от него информацию), ресурс КОП должен быть загружен этой информацией, а после окончания работы—освобожден (рис. 4.11). В соответствии с этим в ОС АИС должны применяться любые из известных методов ресурсной синхронизации [16].

С точки зрения программиста критический блок информации представляет собой один или несколько операторов языка программирования, с помощью которых передается (принимается) информация по КОП. Для тех языков, в которых любой критический блок можно формализовать одним оператором или строгой последовательной группой операторов, возможна «скрытая» от пользователя синхронизация, выполняющаяся, например, драйвером КОП. Для всех остальных языков пользователю необходимо самому уметь выделять критические блоки и правильно синхронизировать использование КОП. Для этого должны быть предусмотрены соответствующие средства в языке высокого уровня.

При программировании в конкретных системах могут встретиться более сложные случаи синхронизации КОП, например когда пользователю будет необходимо управлять отдельными линиями КОП. В этом случае независимо от уровня языка программирования пользователь сам должен определять начало и конец критического блока, но всегда следует стремиться к уменьшению его размера, чтобы другие пользователи не простаивали в ожидании освобождения ресурса КОП.

Наряду с синхронизацией ресурса КОП в ряде АИС целесообразно предусматривать еще один уровень синхронизации—использование отдельных устройств и приборов. Такая потребность возникает, когда устройство программно подготовлено к дальнейшей работе (установлены режимы, подключены определенные цепи, периферийной ЭВМ выдана команда на обработку информации и т. д.) и, таким образом, впоследствии ориентируется на предыдущее состояние. Это же будет в том случае, когда прибор включен на измерение и программа «ждет» от него сообщения об окончании работы. Тогда следует использовать

ресурсную синхронизацию, но уже не на уровне ресурса КОП, а на уровне отдельных критических ресурсов приборов.

Вопрос синхронизации использования приборов, находящихся в состоянии измерения или занятости, отражен в ГОСТ 26.003—80, где определено, что состояние «занято» можно идентифицировать либо четвертым битом байта состояния прибора, либо низким уровнем линий ГП, ДП в состоянии СПАК. Недостаток такого метода заключается в том, что данные функции обычно не реализуются в ВУ, которые составляют в АИС 20...60% общего объема аппаратуры, а для некоторых серийно выпускаемых приборов использование функции «Последовательный опрос» при измерении может привести к увеличению погрешностей результатов, возникновению помех. Кроме того, данный метод не учитывает случая, когда обнаружено, что прибор «готов», но к работе не с любой программой, а закончил предписанные действия и готов выдать данные той программе, которая его запустила. Поэтому требуемая эффективность процесса синхронизации отдельных приборов достигается только при использовании операционной системы. В этом случае ОС АИС должна располагать оперативными данными о состоянии каждого устройства КОП и динамически выделять его по запросам программ. При динамическом захвате ресурсов может возникать такое нежелательное явление, как клинч. Борьба с клинчами является сложной, но разрешимой проблемой и в каждом конкретном случае решается по-своему [16].

Особенности интерфейса КОП позволяют предложить достаточно эффективный способ борьбы с клинчами с помощью правильной обработки сигнала ЗО: при появлении последнего необходимо выяснить, какая программа ждет прерывания от этого устройства, и передавать ей команду управления на специальную точку входа по прерываниям от ЗО, а в противном случае правильно обработать этот сигнал.

Таким образом, применение интерфейса КОП в многозадачной системе предусматривает доработку ОС для выполнения ею ряда дополнительных функций: синхронизации использования КОП и приборов, обработки сигналов от линии ЗО, борьбы с возникающими клинчами, обработки различных сбоев в процессе синхронизации и т. д. Усложняются также пользовательские программы (введение точек входа по прерыванию от ЗО, захват и освобождение ресурсов и др.). Все это определяет более высокие требования как к системному программному обеспечению, так и к уровню подготовки пользователей, прикладных и системных программистов.

#### 4.4. Определение номенклатуры модулей для АИС

Одним из важнейших этапов создания АИС является выбор из исходной совокупности модулей (измерительных приборов, средств вычислительной техники, вспомогательных и других устройств) тех, которые с наибольшей эффективностью обеспечивают выполнение всех операций, необходимых для контроля технического состояния или исследования объекта. Эффективность оценивается по комплексу технических характеристик АИС: производительности, стоимости, средней наработке на отказ, габаритам, массе, энергопотреблению и т. д. При этом одна из характеристик является критерием оптимизации, а остальные — ограничениями. Разнообразие объектов, а также целей и задач контроля не позволяет однозначно считать ту или иную характеристику критерием оптимальности АИС. Для одних случаев наиболее важной является стоимость, для других — масса, для третьих — производительность. По той же причине невозможно заранее указать универсальный набор параметров, подлежащих учету при выборе номенклатуры модулей. Поэтому математическая модель синтеза АИС и методы поиска оптимального плана, рассмотренные ниже, инвариантны к выбираемым техническим характеристикам.

Пусть число операций контроля (ОК) равно  $N$ , т. е. задано множество  $ОК_1, ..., ОК_m, ..., ОК_N$  (под ОК будем понимать любую процедуру, предписанную инструкцией по контролю или исследованию объекта, результаты выполнения

которой необходимы для заключения о техническом состоянии объекта, например измерение частоты, выдача напряжения постоянного тока, выполнение расчетов, документирование, сохранение результатов для следующих проверок, управление испытательным стендом). Каждой ОК соответствует набор конкретных параметров, которые позволяют определить необходимые для ее выполнения устройства из заранее известного или подготовленного банка (совокупности) модулей АИС. Обозначим исходную совокупность модулей множеством  $\{UC_1, \dots, UC_J, \dots, UC_J\} = C$ , где  $J$  — их общее число. Для выполнения  $OK_n$  могут быть использованы устройства или группы устройств нескольких типов, например  $UC_3 \Rightarrow OK_n$ ;  $UC_8 \Rightarrow OK_n$ ;  $\{UC_1, UC_5, UC_9\} \Rightarrow OK_n$ , где  $\Rightarrow$  — отношение выполняемости. Тогда АИС, различных по составу и выполняющих все  $OK_n$ ,  $n = \overline{1, N}$ , будет несколько:  $AIS_1, \dots, AIS_g, \dots, AIS_G$ , причем  $AIS_g = \{UC_1^g, \dots, UC_{h_g}^g, \dots, UC_{H_g}^g\}$  и  $UC_{h_g}^g \in C$ ,  $h_g = \overline{1, H_g}$ .

Любой вариант АИС характеризуется вектором значений тактико-технических показателей  $t_1$  ( $AIS_g$ ), ...,  $t_f$  ( $AIS_g$ ), ...,  $t_F$  ( $AIS_g$ ), каждый из которых является функцией от структуры и состава АИС, а также способа выполнения в ней операций контроля. По условию ограничения на технические показатели АИС должны быть заданными, например, множествами допустимых значений  $T_1, \dots, T_f, \dots, T_F$ . С учетом принятых обозначений математическая модель синтеза АИС принимает следующий вид:

$$AIS^* \Rightarrow OK_n, n = \overline{1, N}, \quad (4.1)$$

$$t_f (AIS^* \in T_f, f = \overline{1, F}), \quad (4.2)$$

где  $AIS^* = \{UC_1^*, \dots, UC_{h^*}^*, \dots, UC_{H^*}^*\} \in \{AIS_1, \dots, AIS_g, \dots, AIS_G\}$ ;  $UC_{h^*}^* \in C$ ,  $h^* = \overline{1, H^*}$ , и одно из ограничений в условиях (4.2) является критерием, например ( $f=3$ )

$$t_3 (AIS^*) = \max (\min) t_3 (AIS_g), \quad (4.3)$$

$$g = \overline{1, G}$$

или, что то же самое,

$$AIS^* = \arg \max (\min) t_3 (AIS_g). \quad (4.4)$$

$$g = \overline{1, G}$$

На практике число возможных или допустимых вариантов АИС, выполняющих все  $OK_n$ ,  $n = \overline{1, N}$ , в среднем составляет миллионы и даже сотни миллионов

$(G \leq \prod_{n=1}^N I_n$ , где  $I_n$  — число устройств или групп устройств, с разной степенью эффективности обрабатывающих  $OK_n$ ). Поэтому ввиду ограниченности ресурсов ЭВМ без использования методов направленного перебора решение задачи (4.1) — (4.3) становится невозможным. Для применения машинных методов детализируем рассматриваемую математическую модель синтеза АИС.

Ограничения (4.2) могут быть трех типов. Первый из них — ограничения на АИС в целом, транзитивно замыкающиеся на каждое  $UC_{h_g}^g \in AIS_g$ . Пусть число таких ограничений равно  $F_1$ , тогда

$$(f_1 = \overline{1, F_1}) \wedge ((t_{f_1}^1 (AIS_g) \in T_{f_1}^1) (\overline{\text{если}}) (t_{f_1}^1 (UC_{h_g}^g) \in T_{f_1}^1, h_g = \overline{1, H_g})). \quad (4.5)$$

Так, если к АИС предъявляется требование по питанию от сети переменного тока напряжением  $(220 \pm 22)$  В и частотой  $(50 \pm 0,5)$  Гц, то такое же требование предъявляется к каждому устройству, входящему в состав системы. Другие примеры подобных ограничений — вариант исполнения устройств, условия эксплуатации.

В общем случае выражение (4.5) некорректно, так как в систему контроля могут быть включены вторичный источник-преобразователь напряжения питания,

устройства защиты от внешних воздействий и др. Тогда условие  $t_{f_1}^1(UC_j) \notin T_{f_1}^1$  не означает обязательное исключение  $UC_j$  из исходного набора средств для формирования АИС. Оно  $(UC_j)$  должно быть рассмотрено при синтезе АИС<sub>g</sub>,  $g = \overline{1, G}$ , в сочетании с соответствующим дополнительным средством  $UC_m$ . При этом  $t_{f_1}^1(UC_j) \notin T_{f_1}^1$  по-прежнему, но  $t_{f_1}^1(UC_j \wedge UC_m) \in T_{f_1}^1$ . Следовательно, для учета ограничений первого типа достаточно проанализировать исходную номенклатуру  $UC_{j,j} = \overline{1, J}$ , и включить в нее только те устройства, которые удовлетворяют условию

$$t_{f_1}^1(\text{АИС}_g) \in T_{f_1}^1, f_1 = \overline{1, F_1}. \quad (4.6)$$

Такой подход обеспечивает инвариантность математической модели синтеза АИС по отношению к подобным ограничениям.

Как уже было указано ранее, в АИС<sub>g</sub> для выполнения ОК может применяться не одно средство, а несколько, которые образуют  $n$ -й измерительный (функциональный) канал или ресурс системы. Например, для измерения напряжения в некоторой точке контролируемого объекта (ОК<sub>1</sub>) АИС по командам управляющей программы создает следующую измерительно-вычислительную цепочку: коммутатор ( $UC_1$ )—вольтметр ( $UC_2$ )—КОП ( $UC_3$ )—ЭВМ ( $UC_4$ )—программа обработки ( $UC_5$ ), т. е.  $\{UC_1, UC_2, UC_3, UC_4, UC_5\} \Rightarrow \text{ОК}_1$ . Такие группы модулей в дальнейшем будем называть функциональным ресурсом (ФР) АИС. Для выполнения одной и той же ОК<sub>n</sub> может быть сформировано несколько ФР, состоящих из различных  $UC_{j,j} \in \overline{1, J}$ , а число ФР в конкретной АИС как минимум равно числу ОК. Поэтому (а также с точки зрения возможности учета ограничений первого типа, когда необходимо включение группы устройств) АИС<sub>g</sub> целесообразно представлять не только совокупностью (набором) модулей:  $\text{АИС}_g = \{UC_1^g, \dots, UC_{H_g}^g, \dots, UC_{N_g}^g\}$ , но и совокупностью функциональных ресурсов:  $\text{АИС}_g = \{\text{ФР}_1^g, \dots, \text{ФР}_n^g, \dots, \text{ФР}_N^g\}$ . Тогда условия (4.2) могут быть описаны математическими зависимостями. Например, ограничения на суммарные затраты, габариты, массу, энергопотребление и т. д. (назовем их ограничениями второго типа) имеют вид

$$t_{f_2}^2(UC_{h_g}^g, h_g = \overline{1, H_g}) \in T_{f_2}^2, f_2 = \overline{1, F_2}, \quad (4.7)$$

где  $F_2$ —число ограничений второго типа, т. е. таких, которые являются функцией от параметров устройств.

Ограничениями третьего типа, целиком зависящими от параметров функциональных ресурсов (производительности, достоверности контроля и др.), являются

$$t_{f_3}^3(\text{ФР}_n^g, n = \overline{1, N}) \in T_{f_3}^3, f_3 = \overline{1, F_3}, \quad (4.8)$$

где  $F_3$ —число ограничений третьего типа.

По определению  $\text{ФР}_n^g$  представляют собой группы (наборы) модулей, специально подобранные для выполнения ОК<sub>n</sub>, и могут быть представлены совокупностью следующих таблиц:

$$A_n = \begin{pmatrix} \{a_{1,1}^n, a_{1,2}^n, \dots, a_{1,j}^n, \dots, a_{1,J}^n\} = \text{ФР}_1^n, \\ \dots \\ \{a_{i_n,1}^n, a_{i_n,2}^n, \dots, a_{i_n,j}^n, \dots, a_{i_n,J}^n\} = \text{ФР}_i^n, \\ \dots \\ \{a_{I_n,1}^n, a_{I_n,2}^n, \dots, a_{I_n,j}^n, \dots, a_{I_n,J}^n\} = \text{ФР}_{I_n}^n \end{pmatrix}, n = \overline{1, N}, \quad (4.9)$$

где

$$a_{i_n,j}^n = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-е устройство должно использоваться для выполнения} \\ & \text{ОК}_n \text{ в составе } i_n\text{-го ФР,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Введем управляемую булеву переменную:

$$x_{i_n,j}^n = \begin{cases} 1, & \text{если в процессе решения задачи (4.1)—(4.3) } j\text{-е устройство планируется} \\ & \text{использовать для выполнения ОК}_n \text{ в составе } \text{ФР}_{i_n}^n, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Здесь и далее по тексту все верхние индексы при переменных обозначают порядковый номер ОК<sub>n</sub>, к которой относится соответствующая переменная.

С учетом принятых соглашений и обозначений задача синтеза АИС сводится к традиционному отысканию оптимального кортежа управляемых переменных  $x_{i_n, j}^n$ ,  $j=1, \bar{J}$ ,  $i_n=1, \bar{I}_n$ ,  $n=1, \bar{N}$ , при следующих условиях:

$$\sum_{i_n=1}^{I_n} Y_{i_n}^n = 1, \quad n = \overline{1, N}, \quad (4.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n = \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n \\ 0 \text{ в противном случае} \end{array} \right\}, \quad i_n = \overline{1, I_n}, \quad n = \overline{1, N}; \quad (4.11)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} t_{f_3}^3 (\Phi P_{i_n}^n) Y_{i_n}^n f_3 T_{f_3}^3, \quad f_3 = \overline{1, F_3}; \quad (4.12)$$

$$\sum_{j=1}^J Z_j t_{f_2}^2 (UC_j) f_2 T_{f_2}^2, \quad f_2 = \overline{1, F_2}; \quad (4.13)$$

$$Z_j = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n, \text{ если } UC_j \text{— изделие одноразового использования;} \\ \left[ \frac{1}{d_j} \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n \right], \text{ если } UC_j \text{— изделие многократного использования;} \end{array} \right. \quad (4.14)$$

$$x_{i_n, j}^n \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, J}, \quad i_n = \overline{1, I_n}, \quad n = \overline{1, N}. \quad (4.15)$$

Отношения  $f_3$  и  $f_2$  принимают значения «больше», «меньше», «равно», «меньше или равно» или «больше или равно» в зависимости от физической сущности ограничений  $f_3$  и  $f_2$ . Коэффициент разовости использования  $UC_j(d_j)$  показывает, в скольких ресурсах возможно использование  $UC_j$ , например, применительно к АИС кабель—изделие одноразового использования ( $d_j=1$ ), интерфейс КОП—14-разового использования, печатающее устройство—многократного использования ( $d_j=+\infty$ ). Символ  $\lceil \cdot \rceil$  обозначает ближайшее целое число, большее или равное выражению в скобках.

Математическая модель (4.10)—(4.15) эквивалентна модели (4.1)—(4.3) и является развернутой формой ее записи, пригодной для применения методов дискретного программирования. Условия (4.10)—(4.11), равно как и (4.1), гарантируют, что в оптимальном плане все ОК<sub>n</sub> будут выполнены, а правило определения дополнительных переменных  $y_{i_n}^n$ ,  $i_n = \overline{1, I_n}$ ,  $n = \overline{1, N}$ , обеспечивает полноту любого  $\Phi P_{i_n}^n$ , т. е. если  $\Phi P_{i_n}^n \in \text{АИС}_g$ , то все  $UC_j$ , для которых  $a_{i_n, j}^n = 1$ , также принадлежат  $\text{АИС}_g$ . Условия (4.12)—(4.14) детализируют выражения (4.2) и представляют собой ограничения третьего и второго типов. Для корректности в них включены дополнительные переменные  $Z_j$ ,  $j = \overline{1, J}$ .

В общем случае коэффициент разовости использования имеет более широкий смысл, чем введенный ранее. Пусть изделием многократного использования является вторичный источник питания и его выходная мощность равна 2000 В·А. Если все включенные в допустимый план задачи (4.10)—(4.15) модули, работающие совместно с ним, потребляют менее 2000 В·А, то в АИС достаточно одного такого источника, если больше 2000 В·А—нужно два, если больше 4000 В·А—три и т. д. Поэтому выражение (4.14) справедливо только для частного случая, когда в  $\Phi P_{i_n}^n$  используется  $1/d_j$  ресурсов изделия многократного использования.

При общем подходе этот коэффициент вычисляется иначе. Обозначим его через  $b_{i_n, j}^n$  и рассмотрим ряд примеров. Предположим, что  $\Phi P_{i_n}^n = \{UC_1, UC_2, UC_3\}$ , где  $UC_3$ —источник питания на 2000 В·А;  $UC_1$ —модуль, работающий

от этого источника и потребляющий  $400 \text{ В} \cdot \text{А}$ ;  $УС_2$  — модуль, питающийся от сети. Тогда  $b_{i_n,3}^n = 400/2000 = 0,2$ . Другой пример:  $\Phi P_i^n = \{УС_1, УС_2, УС_3, УС_4, УС_5\}$ , где  $УС_1$  и  $УС_2$  — модули, работающие в КОП;  $УС_3$  — ЭВМ;  $УС_4$  — модуль, не работающий в КОП;  $УС_5$  — магистраль КОП. Тогда  $b_{i_n,5}^n = 2/14 \approx 0,14$ .

Конкретные значения  $b_{i_n,j}^n$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $i_n = \overline{1, I_n}$ ,  $n = \overline{1, N}$ , легко вычисляются на этапе формирования матрицы (4.9) для всех  $УС_j \in \Phi P_i^n$ . С их помощью можно не только более корректно записывать математическую модель синтеза АИС, но и ввести в нее ряд структурных или алгоритмических дополнительных ограничений. Например, в  $i_n$ -м функциональном ресурсе используется вольтметр. Пусть время измерений с учетом обработки равно 5 с. Если этот же вольтметр применяется в других ОК<sub>n</sub>, то во многих случаях оно будет соответственно увеличиваться. При  $N=100$  время контроля станет не менее 500 с, а, например, в ограничениях на АИС указано 100 с. При обычном подходе (считая  $d_j = +\infty$ ) система ограничений задачи (4.10) — (4.15) оказывается несовместной, хотя фактически достаточно применить пять одинаковых вольтметров и по крайней мере одно допустимое решение будет существовать. Математическая формулировка этого дополнительного ограничения сводится только к назначению  $d_j \leq 100$  с и вычислению соответствующих коэффициентов  $b_{i_n,j}^n$ .

С учетом  $b_{i_n,j}^n$  условие (4.14) в задаче синтеза АИС принимает вид

$$Z_j = \left[ \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} b_{i_n,j}^n a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n \right], \quad j = \overline{1, J}. \quad (4.16)$$

Среди ограничений (4.12) и (4.13) могут встречаться такие, левые части которых представляют собой не суммы, а произведения или более сложные функции характеристик  $\Phi P_i^n$  или  $УС_j$ . Во многих случаях ограничение на достоверность контроля имеет вид

$$\prod_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} t_1^3(\Phi P_{i_n}^n) Y_{i_n}^n \geq T_1^3, \quad (4.17)$$

где  $t_1^3(\Phi P_{i_n}^n)$  — показатель достоверности выполнения ОК<sub>n</sub> с помощью  $\Phi P_{i_n}^n$ ;  $T_1^3$  — требуемое значение достоверности контроля АИС. Мультипликативные или ряд других функций могут быть легко заменены эквивалентными аддитивными формами. Для этого в математической модели необходимо и достаточно вместо средней наработки на отказ, например, рассмотреть интенсивность отказов, вместо достоверности контроля — логарифмы соответствующих коэффициентов или интенсивности ложных и обнаруженных отказов.

Модель (4.10) — (4.15) отличается от существующих постановок тем, что в ней одновременно учитываются как показатели АИС, зависящие от  $\Phi P$  (группы модулей), так и показатели, зависящие от каждого устройства. Отдельно без учета (4.12) она широко известна под названием оптимизации параметрических рядов изделий [3, 44, 48], а без учета (4.13) — синтеза систем [3, 42].

Анализ зависимостей (4.10) — (4.15) позволяет сделать следующие выводы: определение оптимального состава АИС относится к задачам нелинейного целочисленного программирования; нелинейность модели обусловлена наличием условий (4.11) и (4.14), без которых невозможны формулировки ограничений (4.12) и (4.13); для поиска оптимального плана могут быть применены методы динамического программирования или ветвей и границ [23, 27]. Но при этом исключена возможность разработки универсального вычислительного алгоритма, инвариантного к выбираемым ограничениям и критерию. Каждая новая задача, которая будет характеризоваться своим набором ограничений второго и третьего типов, потребует проведения значительного объема оригинальных исследований. Для метода ветвей и границ необходимо каждый раз разрабатывать способ ветвления и расчетные формулы для оценки нижней границы, для метода динамического программирования — способ представления поиска оптимального плана в виде многошагового процесса и аналитический вид рекуррентных соотношений. Для обеспечения универсальности алгоритма поиска оптимального

плана математическую модель (4.10)—(4.15) следует свести к линейному виду. Это достигается рядом искусственных приемов.

Линеаризация условий (4.11) возможна за счет введения дополнительной системы ограничений после следующих преобразований. Выражение

$$\left( \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n = \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n \right) V \left( \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n = 0 \right), \quad i_n = \overline{1, I_n}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (4.18)$$

эквивалентно (4.11), так как обеспечивает выбор или всех  $UC_j \in \Phi P_{i_n}^n$ , или ни одного. Линейной формой (4.18) является

$$-x_{i_n, k_i}^n \left( \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n - 1 \right) + \sum_{j=k_i+1}^J a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n = 0, \quad i_n = \overline{1, I_n}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (4.19)$$

где  $k_i$ —номер первого ненулевого элемента  $a_{i_n, j}^n$  в  $i_n$ -й строке таблицы (4.9). С учетом (4.19) выражение (4.10) принимает вид

$$\sum_{i_n=1}^{I_n} \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n = 1, \quad n = \overline{1, N}. \quad (4.20)$$

Аналогично изменяется математическая формулировка ограничений третьего типа, а именно

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} t_{f_3}^3 (\Phi P_{i_n}^n) \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{i_n, j}^n a_{i_n, j}^n f_3 T_{f_3}^3, \quad f_3 = \overline{1, F_3}. \quad (4.21)$$

Линеаризация зависимостей (4.14) и (4.13), а также более общего случая (4.16) производится введением не только дополнительных ограничений, но и переменных. Применительно к изделиям многоразового использования (т. е. тех, у которых  $d_j \neq 1$ ) условие (4.16) представляется суммой новых булевых переменных  $\omega_{j, r_j}$ ,  $j = \overline{1, J}$ ,  $r_j = \overline{1, R_j}$ , с коэффициентами  $r_j$ , равными числам натурального ряда ( $r_j = 1, 2, 3, \dots, R_j$ ):

$$Z_j = \sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_{j, r_j}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (4.22)$$

Число слагаемых в (4.22)

$$R_j = \left\lceil \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} b_{i_n, j}^n a_{i_n, j}^n \right\rceil, \quad j = \overline{1, J}. \quad (4.23)$$

Подстановка (4.22) в (4.13) и ввод в модель синтеза АИС системы дополнительных ограничений (на новые переменные)

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} b_{i_n, j}^n a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n - \sum_{i_j=1}^{R_j} r_j \omega_j, \quad r_j \leq 0, \quad j = \overline{1, J}, \quad (4.24)$$

$$\sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_j, \quad r_j - \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} b_{i_n, j}^n a_{i_n, j}^n x_{i_n, j}^n < 1, \quad j = \overline{1, J}, \quad (4.25)$$

$$\sum_{r_j=1}^{R_j} \omega_j, \quad r_j \leq 1, \quad j = \overline{1, J}, \quad (4.26)$$

гарантирующих выбор: только одного из них или ни одного; только целого числа, большего или равного выражению (4.16),— позволяют получить эквивалентную линейную форму зависимостей (4.13) и (4.14). Очевидно, что для устройств



одноразового использования в преобразованиях (4.22) — (4.26) нет необходимости, поэтому в окончательном варианте условие (4.13) принимает вид

$$\sum_{j=1}^J t_{f_2}^2(YC_j) \left( P_j \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n + (1-P_j) \sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_{j,r_j} \right) \mathbf{f}_2 T_{f_2}^2, \quad f_2 = \overline{1, F_2}, \quad (4.27)$$

где  $P_j \begin{cases} 1, & \text{если } d_j = 1; \\ 0, & \text{если } d_j > 1. \end{cases}$

Таким образом, с учетом (4.18) — (4.27) задача выбора оптимального состава модулей АИС выражается как

$$\sum_{i_n=1}^{I_n} \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n = 1, \quad n = \overline{1, N}; \quad (4.28)$$

$$-x_{i_n, k_{i_n}}^n \left( \sum_{j=1}^J a_{i_n,j}^n - 1 \right) + \sum_{j=k_{i_n}+1}^J a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n = 0, \quad i_n = \overline{1, I_n}, \quad n = \overline{1, N}; \quad (4.29)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} t_{f_3}^3(\Phi P_{i_n}^n) \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J x_{i_n,j}^n a_{i_n,j}^n \mathbf{f}_3 T_{f_3}^3, \quad f_3 = \overline{1, F_3}, \quad (4.30)$$

$$\sum_{r_j=1}^{R_j} \omega_{j,r_j} \leq 1, \quad (j = \overline{1, J}) \wedge (P_j = 0); \quad (4.31)$$

$$\sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_{j,r_j} - \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} b_{i_n,j}^n a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n < 1, \quad (j = \overline{1, J}) \wedge (P_j = 0), \quad (4.32)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} b_{i_n,j}^n a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n - \sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_{j,r_j} \leq 0, \quad (j = \overline{1, J}) \wedge (P_j = 0); \quad (4.33)$$

$$\sum_{j=1}^J t_{f_2}^2(YC_j) \left( P_j \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n + (1-P_j) \sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_{j,r_j} \right) \mathbf{f}_2 T_{f_2}^2, \quad f_2 = \overline{1, F_2}; \quad (4.34)$$

$$x_{i_n,j}^n \in \{0, 1\}, \quad n = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, J}, \quad i_n = \overline{1, I_n}; \quad (4.35)$$

$$\omega_{j,r_j} \in \{0, 1\}, \quad (j = \overline{1, J}) \wedge (P_j = 0), \quad (r_j = \overline{1, R_j}) \wedge (P_j = 0). \quad (4.36)$$

При этом одно из ограничений (4.30) или (4.34) является целевой функцией. В такой постановке определение оптимального состава АИС представляет собой задачу линейного булева программирования. Основное ее преимущество перед традиционными моделями [3, 42] — инвариантность вычислительного алгоритма по отношению к задаваемому набору ограничений и выбираемому критерию при одновременном учете ограничений и второго, и третьего типов.

Оптимальный план решения задачи (4.28) — (4.36) определяется любым методом решения задач целочисленного линейного программирования [20, 21, 23, 54]. Все они детально разработаны, многие входят в состав пакетов прикладных программ для ЭВМ, имеются в фондах алгоритмов и программ. Одним из наиболее эффективных является алгоритм Балаша [54]. Известны его реализации, допускающие представление исходных данных в виде смешанной системы ограничений, в том числе «строго больше» и «строго меньше».

В отличие от традиционных моделей реализация вычислительных алгоритмов в модели (4.28)—(4.36) не изменяется при включении в нее дополнительных ограничений, например, число модулей не должно быть больше 8:

$$\sum_{j=1}^J \left[ P_j \sum_{n=1}^N \sum_{i_n} I_n a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n + (1-P_j) \sum_{r_j=1}^{R_j} r_j \omega_{j,r_j} \right] \leq 8; \quad (4.37)$$

для выполнения ОК<sub>4</sub> следует обязательно использовать УС<sub>8</sub>:

$$\sum_{i_4=1}^{I_n} a_{i_4,8}^4 x_{i_4,8}^4 > 0; \quad (4.38)$$

время выполнения ОК<sub>8</sub>, ОК<sub>9</sub> и ОК<sub>10</sub> не должно превышать 10 с:

$$\sum_{n=8}^{10} \sum_{i_n=1}^{I_n} t_{j_3}^3 (\Phi P_{i_n}^n) \frac{1}{\sum_{j=1}^J a_{i_n,j}^n} \sum_{j=1}^J a_{i_n,j}^n x_{i_n,j}^n \leq 10; \quad (4.39)$$

можно использовать не более двух ЭВМ (УС<sub>6</sub>):

$$R_6 \leq 2 \quad (4.40)$$

и т. д.

Размерность задачи (4.28)—(4.36) исчисляется как произведение числа переменных

$$K_{\text{пер}} = \sum_{n=1}^N \sum_{i_n=1}^{I_n} \sum_{j=1}^J a_{i_n,j}^n + \sum_{j=1}^J (1-P_j) R_j, \quad (4.41)$$

на число ограничений

$$K_{\text{огр}} = N + \sum_{n=1}^N I_n + F_3 + 3 \left( J - \sum_{j=1}^J P_j \right) + F_2. \quad (4.42)$$

В пределе эти значения достаточно велики:

$$K_{\text{пер}} = \sum_{n=1}^N \left[ I_n J + J \right] \frac{\sum_{n=1}^N I_n}{2} \quad (4.43)$$

(все коэффициенты  $a_{i_n,j}^n = 1$ , все УС<sub>с</sub>—изделия двухразового использования);

$$K_{\text{огр}} = N + \sum_{n=1}^N I_n + F_3 + F_2 + 3J. \quad (4.44)$$

Ввиду слабой заполненности матриц (в среднем пять—шесть ненулевых элементов в каждой строке) при  $N=50$ ,  $J=100$  и  $I_n=4$  имеем в качестве оценки сверху всего 1500 переменных и 265 ограничений. Решение подобных задач на современных ЭВМ сложности не представляет, поэтому определение оптимального набора модулей АИС может быть осуществлено даже в режиме диалога оператора с ЭВМ.

Рассмотрим пример составления математической модели (4.28)—(4.36). Пусть задано три показателя эффективности: производительность  $t_1^2$ , масса  $t_1^3$  и стоимость  $t_2^3$ , а также  $T_1^2=15$  мин,  $T_1^3=160$  кг,  $T_2^3$ —критерий оптимизации (минимум стоимости). Коэффициенты  $a_{i_n,j}^n$ ,  $b_{i_n,j}^n$ ,  $t_1^2$ ,  $t_1^3$ ,  $t_2^3$  и  $P_j$  приведены в табл. 4.4—4.7. Для экономии памяти целесообразно задавать только значения  $b_{i_n,j}^n$ , а  $a_{i_n,j}^n$  рассчитывать по условию

$$a_{i_n,j}^n = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{i_n,j}^n > 0, \\ 0, & \text{если } b_{i_n,j}^n = 0. \end{cases}$$

Таблица 4.4

Значения коэффициента  $b_{i,j}^1$ 

$\Phi P_{i_1}^1$	$YC_1$	$YC_2$	$YC_3$	$YC_4$	$YC_5$	$t_1^2(\Phi P_{i_1}^1),$ мин
$\Phi P_1^1$	0	1	0	0,5	0	6
$\Phi P_2^1$	0,7	0	0,2	0,5	0	3
$\Phi P_3^1$	0	1	0,2	0	0	4

Таблица 4.5

Значения коэффициентов  $b_{i,j}^2$ 

$\Phi P_i^2$	$YC_1$	$YC_2$	$YC_3$	$YC_4$	$YC_5$	$t_1^2(\Phi P_{i_2}^2),$ мин
$\Phi P_1^2$	0	1	0	0	1	4
$\Phi P_2^2$	0	0	0	0,5	0	5
$\Phi P_3^2$	0,4	0	0	0	1	8
$\Phi P_4^2$	0,3	1	0,2	0	0	3

Таблица 4.6

Значения коэффициента  $b_{i,j}^3$ 

$\Phi P_{i_3}^3$	$YC_1$	$YC_2$	$YC_3$	$YC_4$	$YC_5$	$t_1^2(\Phi P_{i_3}^3),$ мин
$\Phi P_1^3$	0	1	0	0,5	1	2
$\Phi P_2^3$	0	1	0,2	0	1	1
$\Phi P_3^3$	0,5	1	0	0	1	1

Таблица 4.7

Значения коэффициентов  $P_j, t_1^2(YC_j),$   
 $t_2^2(YC_j)$ 

$YC_j$	$P_j$	$t_1^3(YC_j),$ кг	$t_2^2(YC_j),$ руб
$YC_1$	0	28	46
$YC_2$	1	68	28
$YC_3$	0	41	14
$YC_4$	0	17	32
$YC_5$	1	24	19

Число операций контроля равно трем, число устройств—пяти. Для ОК<sub>1</sub> и ОК<sub>3</sub> подобрано по три функциональных ресурса, для ОК<sub>2</sub>—четыре. После подстановки исходных данных в (4.28)—(4.36) рассматриваемая задача принимает вид

$$\begin{aligned}
 & x_{1,2}^1/2 + x_{1,4}^1/2 + x_{2,1}^1/3 + x_{2,3}^1/3 + x_{2,4}^1/3 + x_{3,2}^1/2 + x_{3,3}^1/2 = 1; \\
 & x_{1,2}^2/2 + x_{1,5}^2/2 + x_{2,4}^2 + x_{3,1}^2/2 + x_{3,5}^2/2 + x_{4,1}^2/3 + x_{4,2}^2/3 + x_{4,3}^2/3 = 1; \\
 & x_{1,2}^3/3 + x_{1,4}^3/3 + x_{1,5}^3/3 + x_{2,2}^3/3 + x_{2,3}^3/3 + x_{2,5}^3/3 + x_{3,1}^3/3 + x_{3,2}^3/3 + x_{3,5}^3/3 = 1; \\
 & -x_{1,2}^1 + x_{1,4}^1 = 0; \quad -2x_{2,1}^1 + x_{2,3}^1 + x_{2,5}^1 = 0; \\
 & -x_{3,2}^1 + x_{3,3}^1 = 0; \quad -x_{1,2}^2 + x_{1,5}^2 = 0; \quad -x_{3,1}^2 + x_{3,5}^2 = 0; \\
 & -2x_{4,1}^2 + x_{4,2}^2 + x_{4,3}^2 = 0; \quad -2x_{1,2}^3 + x_{1,4}^3 + x_{1,5}^3 = 0; \\
 & -2x_{2,2}^3 + x_{2,3}^3 + x_{2,5}^3 = 0; \quad -2x_{3,1}^3 + x_{3,2}^3 + x_{3,5}^3 = 0; \\
 & 3x_{1,2}^1 + 3x_{1,4}^1 + x_{2,1}^1 + x_{2,3}^1 + x_{2,4}^1 + 2x_{3,2}^1 + 2x_{3,3}^1 + 2x_{1,2}^2 + 2x_{1,5}^2 + 5x_{2,4}^2 + 4x_{3,1}^2 + 4x_{3,5}^2 + \\
 & + x_{4,1}^2 + x_{4,2}^2 + x_{4,3}^2 + 2x_{1,2}^3/3 + 2x_{1,4}^3/3 + 2x_{1,5}^3/3 + x_{2,2}^3/3 + x_{2,3}^3/3 + x_{2,5}^3/3 + x_{3,1}^3/3 + \\
 & + x_{3,2}^3/3 + x_{3,5}^3/3 \leq 15; \\
 & \omega_{1,1} + \omega_{1,2} \leq 1; \quad \omega_{3,1} \leq 1; \quad \omega_{4,1} + \omega_{4,2} \leq 1; \\
 & \omega_{1,1} + 2\omega_{1,2} - 0,7x_{2,1}^1 - 0,4x_{3,1}^2 - 0,5x_{3,1}^3 < 1;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\omega_{3,1} - 0,2x_{1,3}^1 - 0,2x_{3,3}^1 - 0,2x_{4,3}^2 - 0,2x_{2,3}^3 < 1; \\
&\omega_{4,1} + 2\omega_{4,2} - 0,5x_{1,4}^1 - 0,5x_{2,4}^1 - 0,5x_{2,2}^2 - 0,5x_{1,4}^3 < 1; \\
&0,7x_{2,1}^1 + 0,4x_{3,1}^2 + 0,3x_{4,1}^2 + 0,5x_{3,1}^3 - \omega_{1,1} - 2\omega_{1,2} \leq 0; \\
&0,2x_{1,3}^1 + 0,2x_{3,3}^1 + 0,2x_{4,3}^2 + 0,2x_{2,3}^3 - \omega_{3,1} \leq 0; \\
&0,5x_{1,4}^1 + 0,5x_{2,4}^1 + 0,5x_{2,2}^2 + 0,5x_{1,4}^3 - \omega_{4,1} - 2\omega_{4,2} \leq 0; \\
&28\omega_{1,1} + 56\omega_{1,2} + 63x_{1,2}^1 + 63x_{3,2}^1 + 63x_{1,2}^2 + 63x_{4,2}^2 + 63x_{1,2}^3 + 63x_{2,2}^3 + 63x_{3,2}^3 + 41\omega_{3,1} + \\
&\quad + 17\omega_{4,1} + 34\omega_{4,2} + 24x_{1,5}^2 + 24x_{3,5}^2 + 24x_{1,5}^3 + 24x_{2,5}^3 + 24x_{3,5}^3 \leq 160; \\
&46\omega_{1,1} + 92\omega_{1,2} + 28x_{1,2}^1 + 28x_{3,2}^1 + 28x_{1,2}^2 + 28x_{4,2}^2 + 28x_{1,2}^3 + 28x_{2,2}^3 + 28x_{3,2}^3 + 14\omega_{3,1} + \\
&\quad + 32\omega_{4,1} + 64\omega_{4,2} + 19x_{1,5}^2 + 19x_{3,5}^2 + 19x_{1,5}^3 + 19x_{2,5}^3 + 19x_{3,5}^3 \rightarrow \max_{x, \omega}; \\
&\omega_j, r_j \in \{0, 1\}, j \in \{1, 3, 4\}, r_1 \in \{1, 2\}, r_2 = 1, r_3 \in \{1, 2\}; \\
&x_{i_n, j}^n \in \{0, 1\}, n \in \{1, 2, 3\}, j \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, i_n = \overline{1, I_n}, I_1 = 3, I_2 = 4, I_3 = 3.
\end{aligned}$$

## Г л а в а 5

# Метрологическое обеспечение АИС

## 5.1. Погрешности измерительных каналов АИС

Универсальная АИС представляет собой совокупность средств измерений (приборов-модулей), ЭВМ, коммутирующих, цифropечатающих и других вспомогательных устройств, объединенных единым интерфейсом и общим алгоритмом. Почти каждый компонент, особенно приборы-модули, при получении, преобразовании, обработке и передаче измерительной информации вносит в нее более или менее существенные погрешности. В результате в некоторых измерительных каналах (ИК) возможны случаи, когда суммарная погрешность превышает нормированные метрологические характеристики приборов-модулей, рассматриваемых обычно как основной источник возникновения погрешностей измерений. Погрешности приборов-модулей (измерительных преобразователей) нормируются (в соответствии с ГОСТ 8.009—84) с учетом особенностей СИ различными метрологическими характеристиками и при различных условиях их применения, а при работе в составе АИС все виды погрешностей и их нормированные значения должны быть «согласованы» друг с другом. В противном случае при суммировании погрешностей компонентов можно получить общую погрешность, не соответствующую действительному значению. Это обстоятельство требует четкого представления о видах погрешностей, их количественном выражении в технической документации, а также способах суммирования.

При любом измерении возникает погрешность, представляющая собой отклонение измеренного от истинного значения измеряемой физической величины. Как правило, истинное значение неизвестно и вместо него принимается действительное значение измеряемой величины, определенное экспериментальным путем (например, с помощью СИ высокой точности) и настолько мало отличающееся от истинного, что для данных целей измерений может использоваться вместо него.

Погрешность измерительного канала обуславливается совокупностью многих факторов: недостаточным совершенством методов измерений, конструкций средств измерений, включенных в канал, влиянием внешних условий, а также коммутирующего и других вспомогательных и регистрирующих устройств.

**Классификация погрешностей.** По форме представления погрешность подразделяется на:

абсолютную погрешность, выражаемую в единицах измеряемой величины:

$$\Delta = x - x_d, \quad (5.1)$$

где  $x$ ,  $x_d$  — измеренное и действительное значения измеряемой величины соответственно;

относительную погрешность, определяемую отношением абсолютной погрешности к измеренному значению:

$$\delta = \Delta / x = 1 - x_d / x; \quad (5.2)$$

приведенную погрешность, которая представляет собой отношение абсолютной погрешности к некоторому нормирующему значению:

$$\gamma = \Delta / X_N. \quad (5.3)$$

Для значительной группы средств измерений за  $X_N$  принимается больший из модулей пределов измерений.

Для средств измерений, обеспечивающих статические режимы работы технических устройств (в этих случаях при измерениях входные физические величины не изменяют своих значений), в качестве основной характеристики служит функция преобразования измерительного прибора или измерительного преобразователя

$$y = f(x), \quad (5.4)$$

где  $x$  и  $y$  — значения измеряемой величины на входе и выходе измерительного прибора соответственно.

При входном сигнале  $x_1$  измеренное значение составляет  $y_1$ , а соответствующие истинные (действительные) входные и выходные значения равны  $x_n$  и  $y_n$  (рис. 5.1, а). До значений входного сигнала  $x_d$  сохраняются линейные зависимости между  $x$  и  $y$ . При этом функция преобразования (реальная) представляется уравнением прямой линии

$$y = cx, \quad (5.5)$$

где  $c$  — коэффициент преобразования.

Функция преобразования в виде 1 (2) обычно является типовой, отражающей свойства данного средства измерений. В этом случае она называется номинальной функцией преобразования. Для конкретного измерительного прибора эта функция индивидуальна и называется градуировочной характеристикой. Реальная функция преобразования для каждого прибора в большей или меньшей степени отличается от типовой (номинальной) и лежит в пределах некоторой зоны допустимых значений (заштрихованная область на рис. 5.1, а). Поэтому при производстве данной партии средств измерений может выбираться усредненная номинальная градуировочная характеристика.

Функция преобразования в соответствии с формулой (5.1) может быть представлена в виде зависимости  $\Delta = f(x)$  на рис. 5.1, б. При этом границы  $2n$  и  $2v$  указывают некоторую область возможных погрешностей.

Значение абсолютной погрешности в общем случае увеличивается с увеличением входного сигнала, т. е. не остается постоянным в диапазоне измерений. При этом пределы допустимого изменения погрешностей могут быть представлены в виде

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (5.6)$$

где  $a$  — аддитивная составляющая погрешности (рис. 5.1, б), не зависящая от входного сигнала и остающаяся постоянной в диапазоне измерений;  $bx$  — мультипликативная составляющая, зависящая от входного сигнала.

По причине возникновения погрешности измерения подразделяются на инструментальные, методические и субъективные (личные).

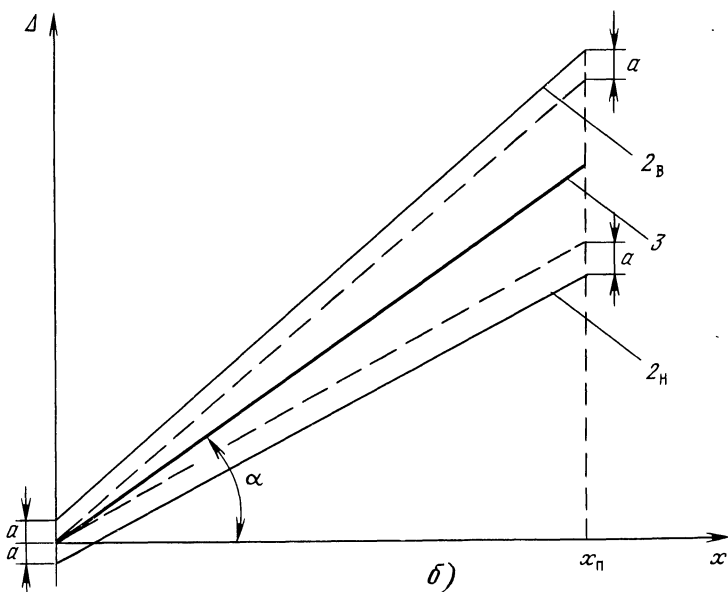
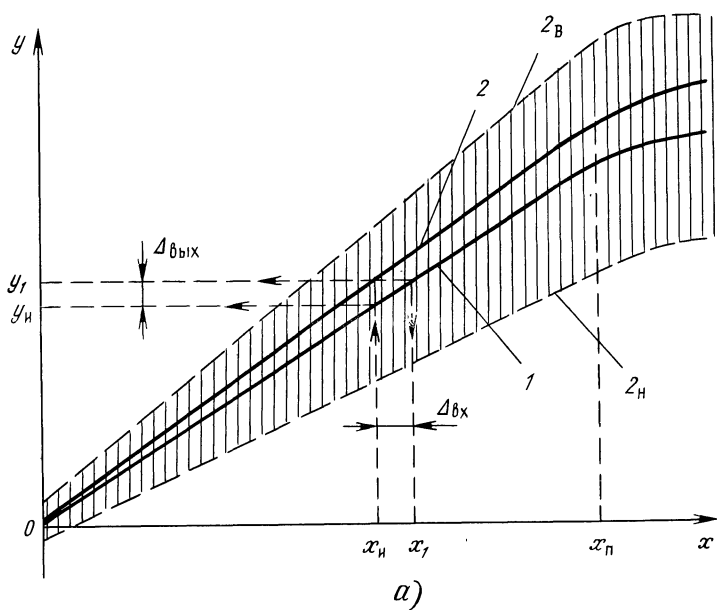


Рис. 5.1. Функция преобразования (а) и номинальная градуировочная характеристика (б) измерительного прибора:

1—идеальная статическая функция преобразования; 2—реальная статическая функция преобразования; 3—номинальная градуировочная характеристика;  $2_н$ ,  $2_в$ —верхняя и нижняя границы допустимых значений реальной функции преобразования (номинальной градуировочной характеристики);  $\Delta_{вх}$ ,  $\Delta_{вых}$ —абсолютная погрешность измерений, приведенная к входу и выходу соответственно

Таблица 5.1

## Нормальные условия применения средств измерений электрических величин

Наименование	Нормальное значение (область значений)	Допустимое отклонение от нормального значения при испытаниях
Температура окружающего воздуха, К (°C)	293 (20)	$\pm 0,1^*$ , $\pm 0,2^*$ , $\pm 0,5$ , $\pm 1$ ; $\pm 2$ ; $\pm 5$ ; $\pm 10$ и $-5$ ; $\pm 10$
Относительная влажность окружающего воздуха, %	30...80	—
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84...106 (630...795)	—
Частота питающей сети, Гц	50 или 400	$\pm 0,5$
Напряжение питающей сети переменного тока, В, при частоте, Гц	220 220 (или 115)	$\pm 4,4$ $\pm 4,4 (\pm 2,3)$
Форма кривой переменного напряжения питающей сети	Синусоидальная	Коэффициент гармоник не превышает 5 или 2% **

\* Для мер электрического сопротивления классов точности 0,0005, 0,001, 0,002

\*\* Для приборов выпрямительной системы

Инструментальная (приборная, аппаратурная) погрешность определяется несовершенством средств измерений.

Методическая погрешность — следствие несовершенства (ограничения) метода измерений. Например, погрешность цифровых приборов, возникающая в результате дискретизации непрерывной измеряемой физической величины, обусловлена ограниченным числом уровней квантования.

Субъективная погрешность вызвана индивидуальными особенностями оператора, производящего измерения. В автоматизированных измерительных устройствах она практически отсутствует.

В зависимости от условий проведения измерений погрешности разделяют на основные и дополнительные (они относятся главным образом к инструментальной и методической погрешностям).

Основной называется погрешность, возникающая в нормальных условиях измерений, которые определяются государственными стандартами на те или иные виды средств измерений. Если на соответствующий вид СИ не установлены стандартами нормальные условия, то их значения принимаются следующими: температура окружающей среды  $293 \pm 5$  К ( $\pm 20 \pm 5^\circ$  C), относительная влажность  $65 \pm 15\%$ , атмосферное давление  $100 \pm 4$  кПа ( $750 \pm 30$  мм рт. ст.), напряжение питающей сети  $220$  В  $\pm 2\%$  с частотой 50 Гц.

Для средств измерений электрических и магнитных величин (ГОСТ 22261—82) установлены нормальные условия работы (табл. 5.1).

Существуют стандарты общих технических условий на СИ, устанавливающие отличные от приведенных в табл. 5.1 влияющие значения для некоторых видов измерительной техники. Это обстоятельство, как будет показано далее, отрицательно сказывается на достоверности определения суммарных погрешностей каналов АИС, содержащих приборы, основные погрешности могут не совпадать только по причине различия в определении нормальных условий работы. Поэтому целесообразно установить одинаковые нормальные условия для всех типов приборов независимо от видов измеряемых ими физических величин.

Дополнительные погрешности возникают при отклонении условий работы средства измерений от нормальных, в связи с чем приходится корректировать основную погрешность, как правило, увеличивая ее.

В зависимости от изменения в процессе измерений физической величины погрешность подразделяется на статическую и динамическую. Статическая погрешность возникает при измерении постоянной, а динамическая — изменяющейся во времени величины. Последняя определяется разностью между погрешностью при измерении в динамическом режиме работы и статической погрешностью при одном и том же значении  $x(t)$  входной величины. Динамические погрешности свойственны и аналоговым, и цифровым средствам измерений при меняющихся во времени измеряемых сигналах. Вместе с тем цифровые приборы характеризуются составляющими динамических погрешностей, обусловленными смещением точек дискретизации мгновенных значений из-за инерционности входных цепей преобразователя [6].

По характеру изменения результатов при повторных измерениях погрешности делятся на систематические и случайные. При этом все рассмотренные виды погрешностей могут вызывать систематические и случайные составляющие погрешностей.

Систематическими называются погрешности, которые остаются постоянными или изменяются закономерно. Во многих случаях систематические погрешности могут быть выявлены и почти полностью или частично устранены. Близость к нулю систематических погрешностей характеризует такое качество измерений, как их правильность. Это означает, что при несущественных систематических погрешностях более правильно выбраны методы, средства и условия измерений, модели и алгоритмы измерительных процедур и др.

Не изменяющиеся во времени систематические погрешности достаточно полно могут быть изучены при одновременном измерении параметров объекта измерений с помощью данного рабочего и высокоточного (образцового) приборов. Ряд систематических погрешностей, вызываемых стабильными условиями измерений, может быть определен аналитически (рассчитан), что позволяет скорректировать эти погрешности введением поправок в результат измерений (учета в машинном алгоритме обработки результатов).

Закономерно (обычно монотонно) изменяющиеся систематические погрешности называют прогрессирующими (они являются следствием старения элементов средств измерений). Но если для данного средства измерений прогрессирующая погрешность является детерминированной, то для некоторого числа однотипных приборов она может оцениваться параметрами квазидетерминированного нестационарного случайного процесса. Это позволяет прогнозировать «развитие» прогрессирующих погрешностей методами теории вероятностей и математической статистики, не допуская достижения значений погрешностей сверх предельных, а также корректируя результаты измерений на величину прогрессирующей погрешности.

Случайные погрешности представляют собой составляющие погрешности измерения, изменяющиеся случайным (заранее непредсказуемым) образом при повторных измерениях данной физической величины в одних и тех же условиях. Вообще говоря, случайную погрешность невозможно определить при одном — двух измерениях, но при многократных измерениях тем же средством измерения можно определить среднее арифметическое и дисперсию случайной погрешности и, применив методы оценки случайных величин, уточнить общий результат измерений. Близость к нулю случайных погрешностей определяет качество измерений, называемое сходимостью (друг с другом).

Неисключенные составляющие систематической погрешности и случайная погрешность проявляются при измерениях совместно, и каждый результат измерений представляет случайное событие. Многократные измерения некоторого параметра, производимые в течение длительного времени, образуют совокупность событий, которые представляют, как правило, нестационарный случайный процесс. Изучение характеристик этого процесса позволяет не только находить функцию изменения погрешностей измерений параметров технических устройств в течение их эксплуатации, но и прогнозировать работоспособность (безотказность) устройств, «фильтруя» погрешности и выделяя с высокой достоверностью среднее арифметическое контролируемого параметра. Современные АИС, особенно универсальные, включающие приборы-модули с высокими показателями точности



и алгоритмы обработки результатов измерений, наиболее приспособлены к функциям достоверного прогнозирования изменения параметров объектов контроля (при сохранении в памяти ЭВМ всех предшествующих измерений параметров и сопоставлении их с текущими).

**Нормируемые метрологические характеристики.** Общие вопросы и порядок нормирования метрологических характеристик СИ установлены ГОСТ 8.009—84, в котором приведен комплекс рекомендуемых для нормирования метрологических характеристик, способы их представления в нормативно-технической документации.

В качестве основных нормируемых метрологических характеристик предлагаются:

- 1) номинальная статическая характеристика преобразования  $y=f_n(x)$ ;
- 2) номинальное значение однозначной меры  $Y_n$ ;
- 3) выходной код, число его разрядов, номинальная цена единицы наименьшего разряда (для цифровых приборов);
- 4) характеристика систематической составляющей  $\Delta_c$  погрешности СИ (для нормальных условий работы);
- 5) характеристика случайной составляющей  $\Delta$  погрешности СИ (для нормальных условий);
- 6) характеристика общей погрешности  $\Delta$  (с учетом неисключенных систематической и случайной составляющих) СИ;
- 7) входное  $z_{вх}$  и выходное  $z_{вых}$  полные сопротивления измерительного устройства (измерительного преобразователя, меры). Нормирование этих показателей указанным ГОСТ не предусматривается, но для АИС они важны;
- 8) динамические характеристики СИ (номинальные передаточная функция, переходная характеристика, АЧХ, ФЧХ, импульсная переходная функция, представляющие зависимость между изменяющимися во времени входным и выходным сигналами);
- 9) неинформативные параметры.

Наряду с нормированием основных погрешностей (пп. 4—6) нормируются дополнительные погрешности с помощью функции влияния, представляющей собой изменение основной погрешности (общей или ее систематической и случайной составляющих) в зависимости от изменения внешних влияющих величин (например, увеличение основной погрешности при изменении температуры на 5 К). Если же в пределах рабочих условий применения (пределы изменения температуры, влажности, атмосферного давления и др.) изменение нормируемых метрологических характеристик по пп. 4—8 не превышает допустимых значений, то функция влияния и допустимые изменения метрологических характеристик, вызванные изменениями неинформативных параметров входного сигнала, не нормируются.

При нормировании систематической и случайной составляющих погрешностей СИ рекомендуется указывать функции или плотности распределения этих составляющих погрешностей.

Номинальная статическая функция преобразования измерительного преобразователя выражается в виде формулы, графика или таблицы (номинальное значение меры — числом). Если статическая функция преобразования устанавливается для конкретных измерительных преобразователей или при их применении в конкретных условиях, нормируются пределы, в которых должна находиться индивидуальная статическая характеристика (см. рис. 5.1).

Характеристики систематической составляющей погрешности  $\Delta_c$  СИ представляются пределом  $\Delta_{с.д.}$  допустимого значения систематической погрешности или, кроме того, математическим ожиданием  $M[\Delta_c]$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma(\Delta_c)$  систематической составляющей погрешности СИ данного типа.

Характеристики случайной составляющей  $\Delta$  погрешности могут быть указаны в виде предела  $\sigma_d(\Delta)$  допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности, ее нормализованной автокорреляционной функции или спектральной плотности для СИ данного типа.

**Классы точности средств измерений.** В целях упорядочения номенклатуры и требований к СИ по точности устанавливают в соответствии с ГОСТ 8.401—80

классы их точности. Классом точности называется обобщенная характеристика СИ, определяемая пределами допускаемой основной погрешности. Пределы допустимой дополнительной погрешности нормируются в виде функции влияния, непосредственно не определяя класс точности СИ. Они указываются в нормативно-технической документации (общие технические требования, общие технические условия, технические условия, паспорт СИ). При этом если СИ предназначены для применения без введения поправок на дополнительные погрешности с учетом номинальных функций влияния, то класс точности на соответствующие типы СИ не устанавливается.

Классы точности не устанавливаются также на СИ, для которых отдельно нормируются значения систематических и случайных составляющих погрешностей, и на СИ, при применении которых для оценки погрешности требуется учитывать динамические погрешности (когда статические погрешности существенно меньше или сопоставимы с динамическими).

При определении классов точности пределы допускаемой абсолютной основной погрешности устанавливают в виде (5.6) или, если коэффициент  $b=0$ , — в виде  $\Delta_a = \pm a$  (чисто аддитивная полоса погрешностей), а также в виде  $\Delta_b = \pm bx$ , если коэффициент  $a=0$  (чисто мультипликативная полоса погрешностей).

Предпочтительным при определении классов точности является выражение пределов допускаемой погрешности через формулы для приведенной или относительной погрешности (класс точности через формулы абсолютной погрешности можно задать в виде буквенно-цифрового обозначения с его конкретным представлением в виде таблицы, графика коэффициентов в нормативно-технической документации).

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности при чисто аддитивной полосе погрешностей ( $b=0$ )

$$\gamma = \pm (\Delta_a / X_n) 100\% = \pm p, \quad (5.7)$$

где  $p$  — положительное число. Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой нормирующее значение устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. При этом пределы абсолютной погрешности берут в единицах длины шкалы.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности

$$\delta = \pm (\Delta_b / x) 100\% = \pm q, \quad (5.8)$$

где  $\Delta_b$  — пределы допускаемой абсолютной основной погрешности при чисто мультипликативной полосе погрешностей;  $q$  — положительное число, выбираемое из ряда или по формуле

$$\delta = \pm (\Delta / x) 100 = \pm [c + d(|X_k / x| - 1)] 100\%, \quad (5.9)$$

где  $\Delta$  — пределы допускаемой абсолютной основной погрешности при наличии аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности (см. (5.6));  $X_k$  — больший (по модулю) из пределов измерений;  $c$ ,  $d$  — положительные числа, выбираемые из ряда, причем

$$c = b + d, \quad d = a / |X_k|.$$


Числа  $p$ ,  $q$ ,  $c$  и  $d$  выбираются из ряда, приведенного в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Допускаемые числовые значения нормируемых погрешностей

$p$ ; $q$ ; $c$ ; $d$	$1 \cdot 10^n$ ; $1,5 \cdot 10^n$ ; $2 \cdot 10^n$ ; $2,5 \cdot 10^n$ ; $4 \cdot 10^n$ ; $5 \cdot 10^n$ ; $6 \cdot 10^n$
$n$	1; 0; -1; -2; -3; -4 и т.

Обозначение классов точности средств измерений

Формула погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Обозначение класса точности		Примечание
		в документации	на средствах измерений	
$\gamma = \pm p$ : нормирующее значение выражено в единицах величины на входе (выходе) СИ	$\pm 1,5$	Класс точности 1,5	1,5	Определяет класс точности в точке $x = X_N$ . Если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы, нормирующее значение равно верхнему пределу диапазона, если внутри шкалы — протяженности диапазона. Применяется в СИ с резко неравномерной шкалой (например, в омметрах)
нормирующее значение выражено в долях длины шкалы	$\pm 1,0$	Класс точности 1,0	1,0 	
$\delta = \pm q$ $\delta = \pm [c + d( X_k/x  - 1)]$ 100%	$\pm 2,5$ $\pm 0,5 + 0,2 ( X_k/x  - 1)$	Относительная погрешность		Класс точности обозначается буквами латинского алфавита. Более высокому классу соответствуют буквы в начале алфавита
$\Delta_a = \pm a$ или $\Delta = (a + bx)$	—	Класс точности M	M	

Примеры обозначения классов точности, включаемые в нормативно-техническую документацию и отображаемые на измерительных приборах, приведены в табл. 5.3.

Некоторые СИ не могут быть нормированы с помощью формул, указанных в табл. 5.3. Например, цифровые частотомеры обладают погрешностью, зависящей от измеряемой величины  $x$  (частоты) и времени измерения  $\Delta T$ . Поэтому ГОСТ 8.401—80 допускает нормирование (без указания класса точности) погрешностей по другим формулам, лучше отражающим изменение погрешности в пределах диапазона измерений. Класс точности цифровых измерительных приборов со встроенными вычислительными устройствами (например, микропроцессорами), позволяющими производить обработку результатов измерений, устанавливается без учета режима обработки.

**Пример 1.** Класс точности вольтметра постоянного тока определен по приведенной погрешности и на приборе указан числом 1,5. Абсолютная погрешность  $\Delta_a = \pm \gamma X_k / 100$ . При  $X_k = 100$  В значение  $\Delta_a = \pm 1,5$  В. При измерениях  $x = 50$  В,  $\gamma = (\Delta_a / x) 100 = 3\%$ .

**Пример 2.** Класс точности вольтметра переменного тока обозначен на приборе числом 2,5, помещенным в кружок. Абсолютная погрешность  $\Delta_b = \pm \delta x / 100$  при  $\delta = \text{const}$  по всей длине шкалы увеличивается по мере увеличения измеряемого сигнала.

**Пример 3.** Класс точности вольтметра обозначен двумя числами 0,5/0,2, т. е. прибор имеет погрешность, представляемую аддитивной и мультипликативной составляющими. При условиях примера 1 в случае  $X_k = 100$  В и  $x = 100$  В  $\delta = \pm 0,5\%$ , в случае  $x = 50$  В  $\delta = \pm 0,7\%$ . Таким образом, в начале пределов диапазона измерений относительная погрешность наибольшая и уменьшается к конечному пределу до 0,5%.

**Суммирование погрешности в измерительных каналах АИС.** При рассмотрении принципов построения АИС (см. гл. 1) было выяснено, что эти системы могут состоять из нескольких измерительных каналов (ИК), каждый из которых предназначен для восприятия, преобразования (измерения) и отображения измеренных значений одной, иногда нескольких однородных физических величин. В состав ИК входят первичные измерительные преобразователи (датчики), если измеряются неэлектрические физические величины, устройство сопряжения с объектом контроля, коммутирующее устройство (его часть, обслуживающая данный ИК), канал связи (шины интерфейса), измерительный прибор, устройство отображения (индикатор, цифropечатающее устройство и т. д.) или его часть, обслуживающая ИК.

Иногда в ИК включается процессор, предназначенный для решения «местных» задач по управлению и обработке измерительной информации в соответствующем ИК. Внешняя для ИК, общая для АИС ЭВМ редко вносит погрешность в суммарную погрешность ИК. В случае, если последний связан с электрическими и электронными узлами контролируемого объекта, первичные измерительные преобразователи в его состав не входят. Это обычно существенно уменьшает суммарную погрешность, особенно за счет дополнительных погрешностей встроенных в объект контроля первичных преобразователей. Погрешности датчиков, «привязанных» к данному ИК, учитываются отдельно и затем суммируются с погрешностью ИК. Но во многих случаях пока что не удастся исключить погрешности различных преобразователей (АЦП, ЦАП) ИК. Процесс преобразования сигналов всегда связан с внесением погрешностей, и это должно учитываться при определении суммарной погрешности. Поэтому процесс определения суммарных погрешностей каждого из ИК АИС начинается с определения структурной схемы канала, включая каналы связи, затем определяются погрешности каждого компонента ИК и, наконец, его суммарная погрешность.

В некоторых универсальных АИС предусматривается автоматическое определение суммарных погрешностей в каждом ИК с учетом или отражением их при индикации. Как показано в табл. 5.3, каждое конкретное измерение в зависимости от способа нормирования СИ и класса точности имеет индивидуальную погрешность, обычно меняющуюся при изменении измеряемой величины. В АИС, контролирующих десятки и сотни параметров, все это можно учитывать только

при введении соответствующих блоков в алгоритмы обработки результатов контроля.

При определении суммарной погрешности ИК в ряде случаев приходится иметь в виду закон распределения погрешностей каждой из составляющих, а также анализировать степень коррелированности составляющих. Некоторое облегчение в решении задачи определения суммарной погрешности представляется в распространенном варианте, когда число суммируемых погрешностей не превышает трех, а иногда и двух. Обычно это бывает в ИК, в которых преобладающие погрешности имеют, например, включенные в канал измерительный прибор и АЦП коммутатора (устройства сопряжения), а погрешности других устройств (индикаторного, цифропечатающего, КОП и др.) существенно меньше и ими пренебрегают. При суммировании погрешностей они рассматриваются как независимые или зависимые случайные величины.

Когда рассматривают случайную погрешность, то имеют в виду, что в нее входит и квазидетерминированно изменяющаяся неисклученная составляющая систематической погрешности. К этому добавим, что в универсальной АИС измерение параметров с помощью автоматизированных приборов производится каждый раз неоднократно с усреднением результатов измерений. Таким образом, усредняются и погрешности результата измерений:

$$\bar{\Delta}_n = \left( \sum_{i=1}^n \Delta_{ni} \right) / n, \quad (5.10)$$

где  $\bar{\Delta}_n$  — усредненная погрешность измерения параметра при  $n$  измерениях;  $\Delta_{ni}$  — погрешность результата одного ( $i$ -го) измерения параметра.

Очевидно, что  $\bar{\Delta}_{ni}$  представляет собой оценку математического ожидания погрешности  $M[\Delta_{ni}]$ . Неоднократные измерения позволяют уменьшить погрешность измерения параметра, сделав ее менее случайной.

Пусть при определении суммарной погрешности ИК необходимо учесть  $m$  входящих в канал устройств, каждое из которых имеет усредненную абсолютную погрешность  $\bar{\Delta}_j$ . В соответствии с теоремой теории вероятностей о том, что математическое ожидание суммы нескольких случайных величин равно сумме их математических ожиданий, и, распространяя эту теорему на оценки математических ожиданий, получаем, что суммарная абсолютная погрешность измерительного канала (вообще говоря, (5.11) дает завышенные значения).

$$\bar{\Delta}_{\Sigma..} = \sum_{j=1}^m |\bar{\Delta}_j|. \quad (5.11)$$

Формула (5.11), позволяющая оценить положение центра рассеяния значений многократно измеряемого параметра, не дает оценки степени разброса результатов измерений, а чем он больше, тем глубже уверенность ошибиться при замене математического ожидания его оценкой (рис. 5.2). В связи с этим важно определить и дисперсию величины  $\bar{\Delta}_{\Sigma..}$ . По теореме сложения дисперсий

$$\sigma^2[\bar{\Delta}_{\Sigma..}] = \sum_{j=1}^m \sigma^2[\bar{\Delta}_j] + 2 \sum_{j < q} K_{jq}, \quad (5.12)$$

где  $\sigma[\bar{\Delta}_j]$  — среднее квадратическое отклонение (с.к.о.) величины  $\bar{\Delta}_j$  (обычно известна оценка  $\hat{\sigma}[\bar{\Delta}_j]$  с.к.о.);  $K_{jq} = \sum_j \sum_q (\bar{\Delta}_j - M[\bar{\Delta}_j])(\bar{\Delta}_q - M[\bar{\Delta}_q])$  — корреляционный момент величин  $\bar{\Delta}_j$  и  $\bar{\Delta}_q$ ;

знак  $j < q$  под суммой обозначает, что суммирование распространяется на все возможные попарные сочетания величин  $(\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2, \dots, \bar{\Delta}_m)$ .

Учитывая, что  $K_{jq} = r_{jq} \sigma[\bar{\Delta}_j] \sigma[\bar{\Delta}_q]$ , где  $r_{jq}$  — коэффициент корреляции между  $\bar{\Delta}_j$  и  $\bar{\Delta}_q$ , находим с.к.о. суммарной погрешности ИК:

$$\sigma[\bar{\Delta}_{\Sigma..}] = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma^2[\bar{\Delta}_j] + 2 \sum_{j < q} r_{jq} \sigma[\bar{\Delta}_j] \sigma[\bar{\Delta}_q]}. \quad (5.13)$$

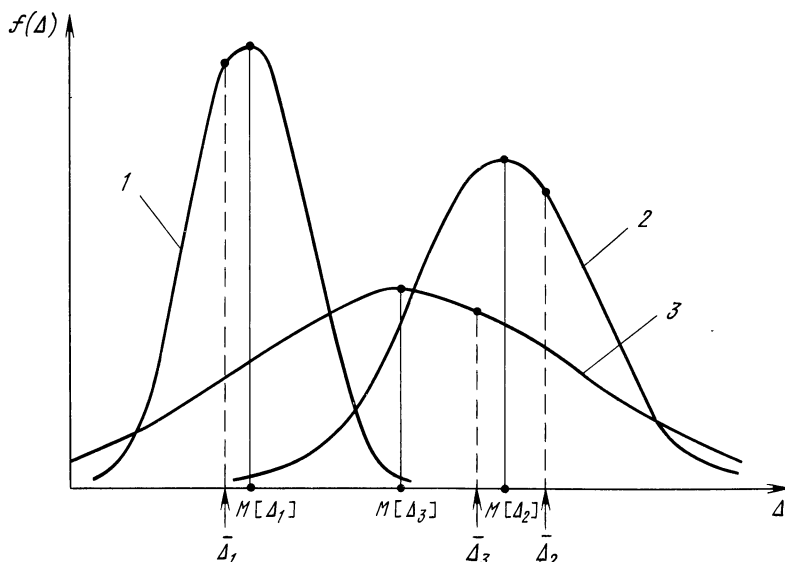


Рис. 5.2. Плотность распределения погрешностей трех устройств (1, 2, 3), входящих в измерительный канал:

$M[\Delta_1]$ ,  $M[\Delta_2]$ ,  $M[\Delta_3]$  — математические ожидания погрешностей первого, второго и третьего устройств;  $\bar{\Delta}_1$ ,  $\bar{\Delta}_2$ ,  $\bar{\Delta}_3$  — усредненные (по неоднородным измерениям) погрешности

Для распространенного случая, когда при определении суммарной погрешности ИК имеются всего два источника ощутимых погрешностей (например, прибор-модуль и коммутатор), а корреляционные связи между ними отсутствуют, (5.13) приобретает вид

$$\sigma(\bar{\Delta}_{\Sigma..}) = \sqrt{\sigma^2[\bar{\Delta}_1] + \sigma^2[\bar{\Delta}_2]}, \quad (5.14)$$

где  $\bar{\Delta}_1$  и  $\bar{\Delta}_2$  — усредненные погрешности первого и второго источников.

Формулы (5.11) и (5.13) позволяют определить точечные оценки погрешностей ИК. Часто наряду с ними достоверность определяют с помощью интервальных оценок. В этом случае, задаваясь уровнем доверительной вероятности  $p_d$  и имея статистические данные  $\bar{\Delta}_{\Sigma..}$ ,  $\sigma[\bar{\Delta}_{\Sigma..}]$  и известное число измерений  $n$ , проводимых при контроле параметров в данном ИК, можно определить

$$\bar{\Delta}_{\Sigma..} - t_{p_d, k} \frac{\sigma[\bar{\Delta}_{\Sigma..}]}{\sqrt{n}} \leq \Delta_{\Sigma..} \leq \bar{\Delta}_{\Sigma..} + t_{p_d, k} \frac{\sigma[\bar{\Delta}_{\Sigma..}]}{\sqrt{n}}, \quad (5.15)$$

где  $t_{p_d, k}$  — значение (квантиль) распределения Стьюдента, соответствующее заданной доверительной вероятности и числу степеней свободы  $k = n - 1$ ;  $\Delta_{\Sigma..}$  — истинное (действительное) значение суммарной погрешности ИК.

Приведенные формулы распространяются на абсолютные погрешности. Значительная часть приборов-модулей в соответствии с требованиями ГОСТ 8.401—80 имеют классы точности, представленные через приведенную или относительную погрешность. Однако для расчета погрешности ИК не представляет труда в соответствии с классом точности найти значения абсолютных погрешностей, как это сделано в примерах, иллюстрирующих практическое использование данных табл. 5.3.

Вернемся к определению суммарной погрешности ИК, имеющего три источника погрешности. На рис. 5.2 все источники имеют нормальный закон распределения. Для применения формул (5.11)—(5.14) учет реального закона

распределения погрешностей, вообще говоря, возможен, но усложняет применение машинной процедуры вычислений. Таким образом, использование подобной процедуры определения суммарной погрешности для эксплуатационных измерений, свойственных контролю, позволяет решать многие задачи оценки результатов измерений параметров технических устройств с помощью универсальных АИС.

Удобным является следующее обстоятельство. Среди источников погрешностей прибор-модуль с нормированными метрологическими характеристиками по формулам табл. 5.3 или другим (как допускает ГОСТ 8.009—84) может быть на любом месте (1, 2, 3). Действительно, если в алгоритме управления и обработки результатов измерений принято, например, 20 измерений каждого параметра, то усреднение погрешностей идет по всем источникам независимо от того, делается это в самом источнике (например, в приборе-модуле), или источник просто «транспортирует» воспринимаемый им сигнал (параметр). При каждом измерении параметр количественно «искажается» последовательно каждым источником в соответствии с законом распределения погрешностей (см. рис. 5.2). На выходе ИК после прохождения всех источников погрешностей измеренный сигнал имеет погрешность данного измерения, равную сумме погрешностей всех источников. После 20 циклов измерений параметра при известных погрешностях каждого источника они могут быть усреднены согласно (5.10), а суммарная погрешность ИК определена по (5.11).

Данная процедура применяется при нахождении суммарной погрешности ИК с прямыми измерениями параметра. При косвенных измерениях в ИК входят в большинстве случаев два параллельных субканала и суммирование по (5.11) проводить нельзя. Суммирование проводится известными методами [40], но при соответствующем усреднении результатов. Если результат косвенных измерений получается расчетом по измеренным значениям двух величин (мощность в цепи постоянного тока  $p=ui$ , сопротивление  $r=u/i$ , где  $u$  и  $i$ —напряжение и ток, измеряемые прямым методом), то суммарная погрешность определяется логарифмированием соответствующей функции, например

$$\ln p = \ln u + \ln i. \quad (5.16)$$

Дифференцируя (5.16), получаем

$$dp/p = du/u + di/i. \quad (5.17)$$

Заменяя дифференциалы величин их малыми приращениями и учитывая, что погрешности всегда много меньше измеряемой величины, находим выражение для абсолютной погрешности:

$$\Delta p = (\delta u + \delta i)p, \quad (5.18)$$

где  $\delta u$  и  $\delta i$ —относительные погрешности измерения напряжения и тока соответственно.

При измерении  $r$  погрешность вычисляется аналогичным способом:

$$\Delta r = (\delta u + \delta i)r. \quad (5.19)$$

В (5.19) при логарифмировании функции  $r=u/i$  получается разность значений  $\ln u$  и  $\ln i$ . Но если относительные погрешности жестко не коррелированы, их составляющие во всех других случаях складываются по абсолютным значениям.

В общем случае, когда измеряемая величина  $z=f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m)$  абсолютная погрешность результата измерений величины  $z$

$$\Delta z = \sum_{i=1}^m \frac{\partial z}{\partial x_i} \Delta x_i, \quad (5.20)$$

где  $\Delta x_i$ —абсолютная погрешность  $x_i$ .

Среднее квадратическое отклонение коррелированных составляющих погрешностей

$$\sigma[\Delta z] = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial z}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{\Delta x_i}^2 + 2 \sum_{i < j} \frac{\partial z}{\partial x_i} \frac{\partial z}{\partial x_j} \sigma_{\Delta x_i} \sigma_{\Delta x_j} r_{ij}}, \quad (5.21)$$

где  $\sigma_{\Delta x_i}$  — с.к.о. абсолютной погрешности  $\Delta x_i$ ;  $r_{ij}$  — коэффициент корреляции между погрешностями  $\Delta x_i$  и  $\Delta x_j$  ( $i \neq j$ ), заключенный в пределах  $-1 \dots +1$ .

Для статистически независимых (некоррелированных) погрешностей  $r_{ij}=0$  и (5.21) представляется только первой суммой.

При косвенных методах измерений, примененных в том или ином ИК универсальной АИС, следует иметь в виду, что заранее нормировать погрешности косвенных измерений по известным классам точности приборов с прямыми методами измерений не представляется возможным. Если, например, измеряется сопротивление и его значение составило 1 Ом, то оно может быть получено при измеренных значениях  $u=1$  В и  $i=1$  А или  $u=0,01$  В и  $i=0,01$  А, и т. д. Погрешности первого и второго результатов будут существенно различны (при тех же классах точности вольтметра и амперметра). Поэтому в программе обработки результатов косвенных измерений в ЭВМ АИС должно быть предусмотрено одновременное определение значения измеренного сопротивления (по данным  $u$  и  $i$ ) и соответствующее определение погрешности.

После определения суммарной погрешности измерительного канала по (5.11) или (5.20) оценивается достоверность результатов контроля с заданной доверительной вероятностью  $p_d$ . Если при использовании (5.11) и (5.20), вообще говоря, не требовалось знание закона распределения источников погрешностей, то использование (5.15) для расчета верхнего и нижнего значений достоверности контроля предполагает нормальный или другой закон распределения суммарной погрешности (в зависимости от вида закона распределения изменяются значения  $t_{p_a, k}$ ).

Если суммируемые погрешности имеют различные законы распределения, то их композиция обычно приводит к нормальному закону распределения. При этом необходимо расчетным или экспериментальным путем найти суммарный закон распределения, идентифицировать его с помощью критериев согласия [11] с одним из известных законов распределения случайных величин и найти из таблиц квантили распределения, соответствующие заданной доверительной вероятности.

Непросто определить характер коррелированности или некоррелированности составляющих погрешностей. В каждом случае требуется на основании теорем теории вероятностей о числовых характеристиках провести анализ, определить, сильно или слабо коррелированы погрешности, в первом случае принять значение коэффициента вероятности равным единице (с соответствующим знаком), во втором — нулю. Например, часто приходится определять суммарную погрешность измерения, состоящую из аддитивной и мультикативной составляющих (функция  $y=a+cx$ ). Можно найти [11]

$$r_{xy} = a/|a|.$$

Если значение  $a$  положительно (во многих случаях), то коэффициент корреляции равен  $+1$ , если же отрицательно, то  $-1$ .

## 5.2. Виды метрологического обеспечения

Метрологическое обеспечение АИС должно соответствовать требованиям нормативно-технических документов, изложенным в [29]. Основными научно-техническими мероприятиями метрологического обеспечения АИС являются:

- метрологическая экспертиза проектов технических заданий на разработку АИС, ее конструкторской, проектной и технической документации;
- государственные или ведомственные приемочные и контрольные испытания;
- метрологическая аттестация;
- поверка АИС;
- анализ состояния метрологического обеспечения;
- государственный метрологический надзор и ведомственный метрологический контроль за применением АИС.



Нормативно-техническая документация по метрологическому обеспечению АИС включает государственные и отраслевые стандарты, типовые программы испытаний и метрологической аттестации, методики, регламентирующие организацию и порядок проведения работ по метрологическому обеспечению АИС, а также методы нормирования, оценки и контроля метрологических характеристик. Основопологающие документы по метрологическому обеспечению АИС в соответствии с планами государственной и отраслевой стандартизации в основном разрабатывают метрологические научно-исследовательские институты. На организации, эксплуатирующие АИС, возлагаются задачи по поддержанию их метрологических характеристик в нормированных пределах. С этой целью они участвуют в разработке программ метрологической аттестации, методик поверки и технического обслуживания АИС.

В зависимости от схемно-конструктивного решения и исходя из экономической целесообразности применяют различные подходы к решению задач метрологического обеспечения АИС. Вместе с этим ряд специфических особенностей АИС побуждают обосновывать для них эффективные формы и способы метрологического обеспечения, используя при этом полезный опыт метрологического обеспечения автономных СИ общего применения и специализированных АСК.

К числу таких особенностей АИС можно отнести следующие.

1. Автоматизированные системы имеют гибкую структуру. Их состав и содержание прикладных программ контроля, а следовательно, метрологические характеристики, в процессе эксплуатации могут изменяться, что обуславливает необходимость своевременной доработки процедур поверки измерительных каналов АИС.

2. По сравнению с АСК АИС обычно являются более точными системами. Для оценки качества работы АИС недостаточно контролировать только их функционирование, как это часто бывает с АСК, работающими в режиме контроля по принципу «да—нет». Поверку АИС необходимо проводить по всем измерительным каналам с использованием образцовых СИ.

3. Измерительные приборы-модули, составляющие метрологическую основу АИС, выпускаются прежде всего как автономные СИ широкого применения. Для них разработаны и апробированы методы аттестации и периодической поверки, которые следует использовать при метрологическом обеспечении ИК АИС.

4. В состав АИС, как правило, входят СИ двух классов: источник стимулов (меры, генераторы, калибраторы) и измерительные приборы. Поверив СИ одного класса, можно использовать их в качестве образцовой меры для поверки приборов другого класса.

5. В общем случае приборно-модульные универсальные АИС обладают некоторой функциональной избыточностью (при контроле конкретного технического объекта), которую целесообразно использовать для повышения эффективности метрологического обеспечения АИС в целом.

### 5.3. Аттестация АИС

Аттестацией АИС называется процесс определения и установления метрологических характеристик ИК конкретного экземпляра АИС. Под ИК будем понимать состав измерительных, вычислительных и вспомогательных средств, а также программ измерений, предназначенных для восприятия одной физической величины, ее преобразования для индикации, регистрации и хранения с целью последующего использования. В АИС (рис. 5.3) число измерительных каналов обычно значительно превышает количество средств измерений, входящих в их состав, так как многие приборы являются комбинированными и, кроме того, некоторые физические величины могут быть определены методами косвенных, совокупных или совместных измерений. Например, на приведенной схеме АИС измерение частоты электрических колебаний можно осуществить по различным

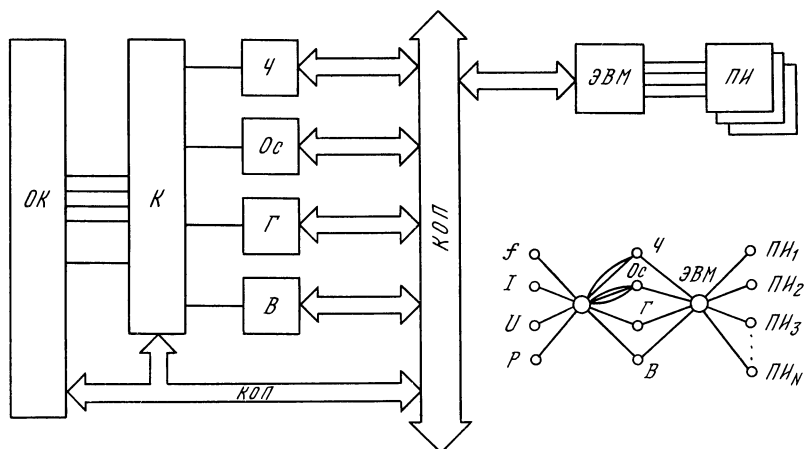


Рис. 5.3. Обобщенная схема типовой АИС и граф прохождения измерительной информации:

ОК — объект контроля, К — коммутатор; Ч — частотомер; Ос — осциллограф; Г — генератор, В — вольтметр; ПИ — программа измерений,  $f$  — частота,  $I$  — ток,  $U$  — напряжение,  $P$  — мощность

программам измерений двумя ИК: коммутатор — электронно-счетный частотомер — КОП — ЭВМ; коммутатор — осциллограф — КОП — ЭВМ.

Если путь прохождения измерительной информации по всем ИК изобразить графически, можно построить граф, вершинам которого соответствуют технические средства АИС и программы измерений, вводимые в ЭВМ. Каждая ветвь графа — это изображение одного ИК. Рассматривая структуру графа и сравнивая число ветвей с числом вершин, изображающих не аттестованные средства АИС, представляется возможным определить рациональный метод аттестации ИК — в целом или по элементам.

Аттестация канала в целом, как правило, требует меньших затрат по времени ее проведения. При поэлементной аттестации следует учитывать, что метрологические характеристики большинства элементов уже известны, т. е. аттестованы. И, что особенно важно, аттестованы измерительные приборы, которые определяют тот верхний порог погрешности ИК, который не может быть уменьшен.

Среди других технических средств, которые могут повлиять на качество функционирования АИС, имеются элементы, предназначенные для реализации интерфейсных функций (КОП, интерфейсные платы в приборах и т. д.). Если они выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 26.003—80 (т. е. аттестованы при производстве), то их влияние на метрологические характеристики ИК несущественно. Однако из-за сложности проверки реализации интерфейсных функций в СИ многие из них выпускаются с нарушениями требований ГОСТ 26.003—80, что является одной из причин возможного снижения эффективности АИС. Для выявления таких нарушений необходимо проводить аттестацию интерфейсных функций, реализуемых в СИ, перед их постановкой на серийное производство.

Кроме того, потеря точности измерений АИС может быть обусловлена некорректно составленными алгоритмами и программами измерений. Поэтому в АИС должны подвергаться метрологической аттестации программы, реализующие соответствующие алгоритмы измерений. Учитывая, что алгоритмы измерений и контроля могут составляться в процессе эксплуатации АИС, к их разработке должны привлекаться ведомственные метрологические службы и метрологические службы организаций, применяющие АИС.

## 5.4. Поверка АИС

Поверка АИС заключается в совокупности действий для определения погрешностей измерительных каналов и установлении на этой основе их пригодности к применению. Результатом поверки является заключение о готовности АИС, если погрешности каждого ИК не превышают значений, установленных в технической документации, или неисправности АИС, если хотя бы один из ее каналов имеет метрологический отказ.

Для АИС, как других измерительных средств и систем, известны два общих подхода поверки: комплектный и поэлементный, которые в зависимости от технических возможностей, особенностей самой АИС и экономической целесообразности могут иметь различные формы и способы их реализации. Комплектная поверка позволяет контролировать характеристики ИК, который в последующем выступает как единое целое при контроле технических объектов. В то же время поэлементная поверка более глубоко отражает свойства элементов АИС, позволяет иметь информацию о тенденциях изменения этих свойств. Поэтому она предпочтительна при прогнозировании технического состояния АИС и ее ремонте.

Оценивая элементы АИС по стабильности их метрологических характеристик, можно отметить, что наиболее низкий этот показатель у средств измерений. Такие элементы АИС, как коммутатор, КОП и носители программ, по сравнению с измерительной техникой в процессе эксплуатации практически не изменяют своих метрологических характеристик. Поэтому их можно периодически не проверять, а проверять (проводить контроль функционирования, тестовый контроль и т. д.). Наряду с этим, используя отмеченные системные свойства АИС и наличие в ее составе ЭВМ, можно добиться существенного повышения эффективности поверки АИС, проведя кардинальную унификацию состава образцовых средств поверки. Методика решения данного вопроса состоит в следующем.

Во-первых, поверка АИС независимо от того, комплектная она или поэлементная, должна проводиться в автоматическом режиме. Поэтому для поверки АИС следует создать ряд образцовых, поверочных АИС (ПАИС).

Во-вторых, для всех возможных типов рабочих АИС необходимо провести анализ измеряемых физических величин и для каждой из них определить диапазоны измерений. Назовем их каналами измерений (рис. 5.4). Анализ выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью приборов группы В показывает, что их канал измерений ограничен пределами 50 нВ...30 кВ.

В-третьих, для каждого канала измерений необходимо определить возможный состав образцовых СИ. Следует учитывать и экономические эффекты от поверки того или иного типа высокоточных СИ, и массовость их использования. Например, напряжение с погрешностью менее 0,03% может измеряться весьма малочисленной группой приборов, используемых при лабораторных измерениях. Поэтому создание АИС, ориентированных на эту группу СИ, экономически неоправданно.

И наконец, в-четвертых, необходимо оценить способы получения образцовой измерительной информации: непосредственным измерением (воспроизведением) физических величин либо математическими расчетами по данным измерений основных физических величин.

Известно, что в международной системе единиц физических величин семь единиц являются основными, а остальные — производными. В практике электрических и радиотехнических измерений массовое использование имеют четыре физические величины: длина, масса, время и сила электрического тока, по которым можно оценить любую другую производную. Например, напряженность электрического поля имеет размерность  $LMT^{-3}I^{-1}$ , где  $L$  — размерность длины;  $M$  — размерность массы;  $T$  — размерность времени;  $I$  — размерность силы электрического тока. Поэтому если в состав АИС ввести четыре образцовые (эталонные) меры: длину, массу, время и силу электрического тока, то по ним могут быть поверены все приборы АИС. Хотя теоретическая возможность создания такой универсальной ПАИС не вызывает сомнений, ее практическая реализация сопряжена со значительными трудностями.

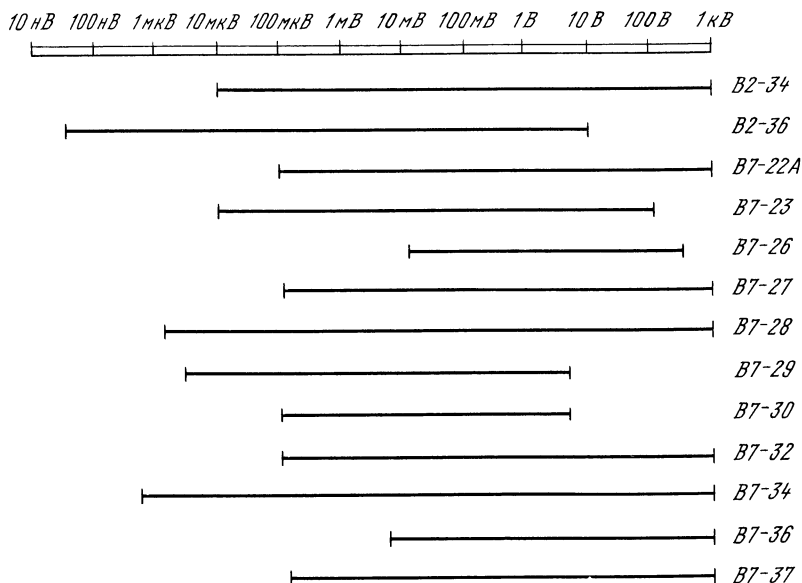


Рис. 5.4. Формирование канала измерений для напряжения постоянного тока

Изложенная методика была использована при разработке требований к ПАИС (рис. 5.5). Ее функциональные возможности: выполнение основных операций поверки в автоматическом или диалоговом режиме радиоизмерительных приборов видов В2, В3, В7, Е6 и АИС на их основе.

Поскольку АИС создаются из СИ общего применения, то, несмотря на независимые подходы в их проектировании, все они метрологически опираются на сравнительно небольшой состав образцовых средств измерений, на основе которых может быть создана единая ПАИС. Например, анализ измерительных возможностей радиоизмерительных приборов высшего класса точности Ч1-74, В1-28, В1-29, В1-30, В3-60, Е1-14, Г3-118, К2-34, К2-38, Ч7-39, И1-16 показал, что они совместно с набором калибраторов мощности и образцовых катушек сопротивления могут быть использованы для построения ПАИС, обеспечивающей поверку до 300 типов радиоизмерительных приборов видов В2, В3, В7, Е6, Г3, Г4, Г5, Ч3, М3, С1, С8, т. е. практически любая АИС может быть поверена с помощью такой универсальной ПАИС.

Наличие в составе АИС большого числа ИК и средств вычислительной техники позволяет внести в традиционные методы поверки измерительной техники более эффективные решения. Так, рассмотрение структурных схем различных АИС свидетельствует о том, что до 75% поверочных операций обеспечивается средствами самой поверяемой АИС. При этом все средства поверяемой АИС можно условно изобразить в виде двухуровневой схемы поверки (рис. 5.6). На нижнем уровне организуется самоповерка СИ по другим средствам этой же поверяемой АИС. Так как все средства измерений одной АИС не могут быть полностью поверены путем взаимных сличений, то из состава АИС выделяется ряд приборов, которые выполняют роль исходных образцовых СИ АИС (СИ верхнего уровня), и они поверяются по внешним для данной АИС образцовым СИ высшей точности. Этот принцип положен в основу поверки АИС, предназначенной для контроля ОК с широкой гаммой электрических величин. Роль исходных средств в такой АИС выполняют четыре СИ: мера напряжения; мера электрического сопротивления; стандарт частоты; блок термопреобразователей.

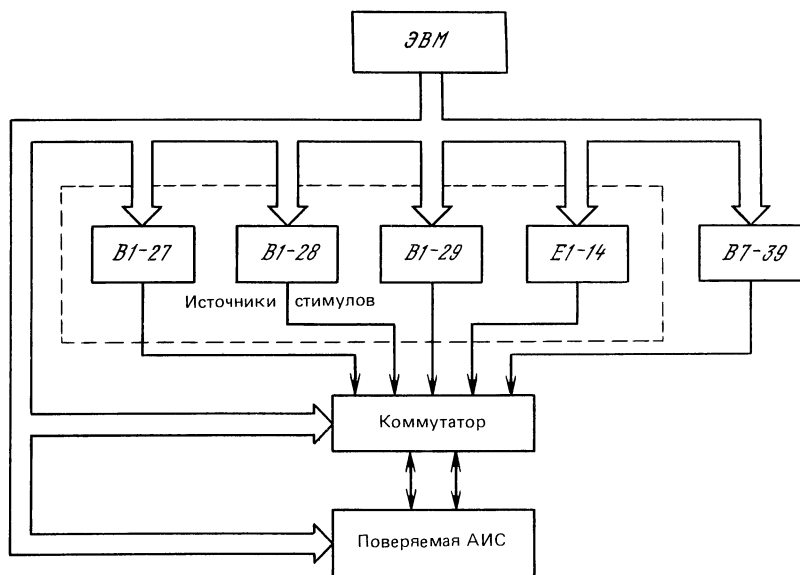


Рис. 5.5. Схема поверки АИС

Естественное стремление к уменьшению числа исходных СИ АИС ведет к сокращению затрат на эксплуатацию АИС, снижает время ее простоя на проведение поверочных работ. Поэтому в АИС часто включаются встроенные образцовые меры единиц физических величин, которые играют роль эталонов-переносчиков. Они не используются при работе АИС в качестве системы контроля, а применяются только в процессе проверок самой АИС. Их изъятие в межповерочный интервал для собственного метрологического обслуживания не приводит к снижению показателей эффективности АИС. Среди этого класса средств поверки АИС находят широкое применение меры сопротивления и делители напряжения, которые позволяют по однозначной мере поверить все диапазоны измерений напряжений и сопротивлений. В частности, на этом принципе основана поверка и ряда автономных СИ, например образцового делителя напряжения Р313.

Таким образом, рассматривая концепции метрологического обеспечения разрабатываемых и перспективных АИС, можно выделить следующие основные способы их поверки.

**Поэлементная поверка.** Метрологическое обеспечение сводится к демонтажу АИС и аттестации отдельных СИ традиционными способами в соответствии с действующей документацией на методы и средства поверки. При этом некоторая часть СИ из состава АИС может быть поверена средствами самой АИС. В отдельных случаях их количество может быть довольно значительным: до 75% общего числа СИ АИС.

**Комплектная поверка.** При этом способе несколько СИ АИС объединяются в единый ИК и поверяются совместно. Способ эффективен, когда АИС обладает функциональной избыточностью и возможна организация двухуровневой схемы поверки. При этом нижний уровень СИ поверяется комплектно с помощью СИ верхнего уровня, приборы которого поверяются внешними СИ высшей точности поэлементно.

**Автономная поверка.** При такой поверке погрешности ИК определяются минимальным набором однозначных мер единиц физических величин (эталон-переносчиков) и предусматривается возможность введения в состав АИС мер,

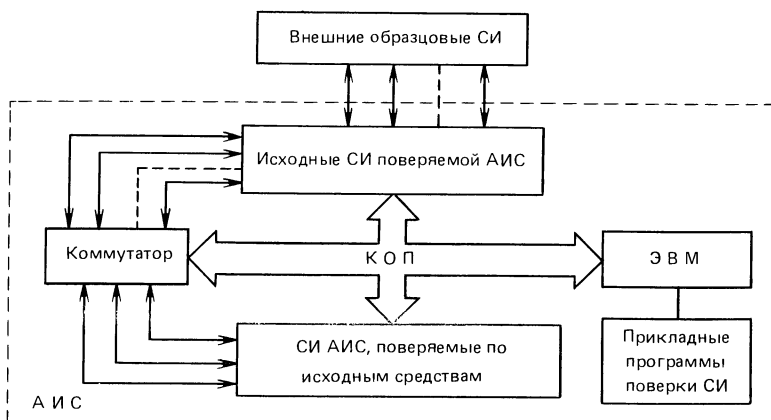


Рис. 5.6. Двухуровневая схема поверки АИС

основанных на свойствах физических констант, эффектов Холла, Джозефсона и т. д. Организация автономной поверки обуславливает введение в состав АИС ряда специализированных средств автономной поверки (переходных мер), позволяющих расширить динамические диапазоны исходных мер. При автономной поверке создается система передачи размеров единиц физических величин от эталонов через эталоны-переносчики к СИ АИС. Данный метод имеет высокую точность и достоверность результатов поверки и обеспечивает высокую готовность АИС к использованию по прямому назначению.

**Комбинированный способ поверки.** Этот способ основан на перечисленных подходах поверки и возможностях средств вычислительной техники, входящих в состав АИС, и использует методы прогнозирования для оценки погрешностей каждого канала АИС. Взаимное сличение погрешностей различных каналов АИС и сравнение полученных результатов с данными прогноза позволяют существенно повысить точность прогноза. На основе данного способа может быть организовано техническое обслуживание АИС по фактическому состоянию.

## 5.5. Метод аналитической обработки измерительной информации (случайная составляющая погрешности)

В качестве оценки математического ожидания широко используют среднее арифметическое результатов измерений  $\bar{x}$ . При малом объеме выборки (десятки измерений) особенности закона распределения погрешностей оказываются замаскированными случайностью самой выборки. Отмеченные трудности могут быть существенно устранены, если для обработки результатов измерений использовать аналитические зависимости.

Предположим, что  $n$  измерений контролируемого параметра:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — выполнены в моменты  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . В течение  $t_n - t_1$  результаты всех выполненных измерений отличаются друг от друга только величиной случайной составляющей погрешности измерений

$$x_i(t_i) = x_d + \xi_i(t_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5.22)$$

где  $x_d$  — действительное значение измеряемой величины  $x$ ;  $\xi_i$  — случайные составляющие погрешности измерений.

Процессы вида (5.22) можно моделировать [7] с помощью интерполяционных и сглаживающих сплайнов на малой выборке значений случайных функций.

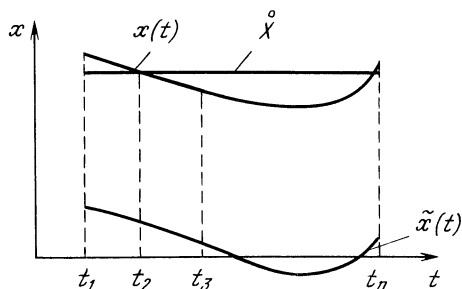


Рис. 5.7. Временной ряд результатов измерений и оценка действительного значения контролируемой величины

Основываясь на этом, представим огибающую временного ряда (5.22) степенной функцией (рис. 5.7)

$$x(t) = x_d + \sum_{i=1}^k b_i t^i, \quad (5.23)$$

где  $b_i$  — числовые коэффициенты ряда. Выполнив дифференциально-интегральное преобразование (5.23), получим

$$\tilde{x}(t) = \int_0^t (x(t))'_i dt = \sum_{i=1}^k b_i t^i. \quad (5.24)$$

Разность между  $x(t)$  и  $\tilde{x}(t)$  дает искомую оценку действительного значения контролируемого параметра  $\hat{x}$ :

$$\hat{x} = x(t) - \tilde{x}(t) = x_d. \quad (5.25)$$

Приведенная схема реализуется в случае, когда степень аппроксимирующего полинома согласована с числом реализаций  $x(t)$ . С повышением степени полинома неизбежно усложняются вычисления и, как следствие, возрастает вычислительная погрешность и снижается устойчивость решения. Поэтому целесообразно перейти к аппроксимации множества реализаций измерений полиномом фиксированной (желательно достаточно низкой) степени. У степени этого полинома существует нижняя оценка. Так, ввиду наличия операции дифференцирования степень полинома не может быть менее второй, иначе при дифференцировании происходит его вырождение.

В качестве рабочей гипотезы для решения задачи использованы идеи метода регуляризации. Выбранная степень аппроксимирующего полинома меньше, чем необходимо по числу реализаций, поэтому, используя вычисления по (5.24) и (5.25), получаем

$$\hat{x}(n) = x_d + b(n), \quad (5.26)$$

где  $b(n)$  — функция изменения постоянных составляющих аппроксимирующего полинома, построенного на различных  $n$  точках. С учетом того, что  $x(t)$  — реализация случайной функции,  $b(n)$  является случайной функцией. Отсюда следует необходимость итерационного приближения с контролем сходимости, например, по  $L_2$ -метрике [5]. При этом можно предположить равномерную сходимость приближающей функции  $\hat{x}(n)$  к действительному значению  $x_0$  при  $\psi \rightarrow 0$ , где  $\psi$  — разность между ними по  $L_2$ -метрике:

$$\psi = \|\hat{x}(n) - x_0\|_{L_2} = \left\{ \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_d)^2 \right\}^{1/2}. \quad (5.27)$$

Обеспечивая устойчивость вычислений приближающей функции и учитывая случайность реализации  $\hat{x}(n)$ , целесообразно упорядочить конкретные значения реализаций таким образом, чтобы предусмотреть максимальное сглаживание значений реализаций применительно к аппроксимирующему полиному выбранной

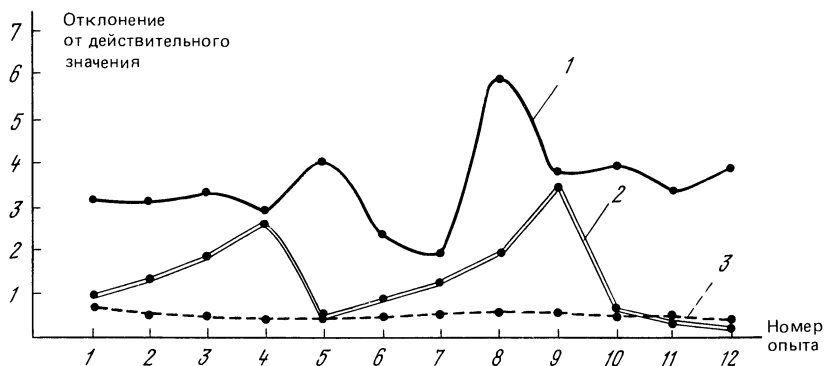


Рис. 5.8. Сравнительная оценка точности определения действительного значения различными методами:

1 — огибающая среднего арифметического по 27 измерениям; 2 — огибающая определения действительного значения дифференциально-интегральным методом по 27 измерениям; 3 — огибающая среднего арифметического по 200 измерениям

степени. Такие преобразования позволяют получить на каждом шаге итерации функцию, приближающуюся к математическому ожиданию. Исходя из общих положений метода регуляризации сходимость приближающейся функции к истинной должна быть равномерной по  $L_2$ -метрике. Любая равномерная по  $L_2$ -метрике сходимость является в то же время и монотонной сходимостью.

Таким образом, в качестве критерия останова итерационного процесса можно выбрать момент нарушения монотонности. В одном из экспериментов исследовалось дифференциально-интегральное преобразование с использованием аппроксимирующего полинома Лагранжа второй степени. Максимальное число измерений действительного значения  $x_d$  составляет 200, что согласуется с расчетным числом реализаций  $n$  в статистике, обеспечивающей точность 3% при коэффициенте значимости 0,95 [33]:

$$n = 3,84v^2/\varepsilon^2, \quad (5.28)$$

где  $\varepsilon$  — допустимая погрешность измерений, %;  $v$  — мера изменчивости (отношение основного отклонения к среднему значению), %.

В эксперименте  $v = 10\%$ , т. е.  $|\psi| \leq 0,1x_d$ , а действительное значение параметра  $x_d = 100$ . Программная реализация модели позволяет сравнивать статистические характеристики среднего арифметического и дифференциально-интегрального преобразования, получаемые по частичным выборкам различной длины по результатам 200 реализаций измерительного процесса.

Фрагмент реализации программы для выборки, содержащей 27 результатов измерений, полученных в 12 независимых опытах, приведен на рис. 5.8. Усредненные данные по совокупности ряда экспериментов, содержащие числовые характеристики результатов измерений, представлены в табл. 5.4.

Анализ приведенных данных показывает, что, начиная с выборок длиной 20, прослеживается равномерная сходимость результатов дифференциально-интегрального преобразования с истинным значением как по средней ошибке, так и по среднеквадратическому отклонению. Оценка погрешности результата является усреднением  $L_2$ -метрики по числу рассматриваемых реализаций и в условиях эксперимента принимает вид

$$\psi \leq 0,05/\sqrt{n}. \quad (5.29)$$

Таким образом, использование дифференциально-интегрального преобразования по сравнению с определением среднего арифметического на частичной



**Сравнительная оценка статистического и аналитического  
методов обработки результатов измерений**

Длина выбор- ки	Числовые характеристики среднего арифметического				Числовые характеристики дифференциально-интегрального преобразования			
	$\bar{x}$	$\sigma\bar{x}$	$\bar{\Delta}$	$\sigma\bar{\Delta}$	$\bar{x}$	$\sigma\bar{x}$	$\bar{\Delta}$	$\sigma\bar{\Delta}$
15	96,20	6,51	5,62	4,28	96,99	5,59	4,11	3,87
18	101,91	5,28	4,89	3,27	101,54	5,05	3,51	2,95
20	98,85	4,98	4,74	1,90	99,92	1,74	1,44	0,99
27	99,68	3,62	3,50	0,99	100,05	1,42	1,10	0,90
30	100,42	3,43	3,26	1,13	100,14	1,31	1,04	0,81

выборке позволяет уточнить результат в среднем на 30% при уменьшении длины выборки в 7...10 раз. При этом погрешность результата составляет  $\pm(1...1,5)\%$  при исходной погрешности измеренных данных  $\pm 10\%$ .

Кроме того, сходимость вычислительного алгоритма относительно  $L_2$ -метрики инвариантна к аддитивному добавлению в модель детерминированных медленно меняющихся функций. Следовательно, дифференциально-интегральное преобразование применимо при реализациях измерений, содержащих систематические и дополнительные погрешности, и снижает их влияние в большей степени, чем статистические методы.

## 5.6. Метод аналитической обработки измерительной информации (систематическая составляющая погрешности)

Наиболее эффективный и действенный способ определения систематических погрешностей СИ заключается в их проверке, когда погрешность поверенного прибора устанавливается с точностью образцового СИ. Однако в течение межповерочного интервала из-за влияния ряда воздействующих факторов величина систематических погрешностей меняется по определенному закону, который не всегда известен. В общем случае систематическая погрешность изменяется по сравнительно «гладкому» закону и, как правило, имеет тенденцию к увеличению, т. е. носит прогрессирующий характер.

При исследовании систематических погрешностей ИК АИС могут применяться статистические и аналитические методы обработки измерительной информации, получаемой в результате поверок АИС.

Рассмотрим возможность применения статистических методов для снижения указанных погрешностей. Задача такова, что для имеющегося числа  $i$  ИК, каждому из которых соответствует число  $N_i$  точек проверок, необходимо с помощью статистического метода определить рассматриваемые погрешности с целью их корректировки или селекции ИК на годные и негодные. Учитывая особенности систематических погрешностей, а также тот факт, что число  $N_i$  мало, применение статистического метода не дает достоверных значений вероятностных характеристик математической модели, так как в данном случае натурные исследования составляют один из важных этапов, и, чтобы получить по ним достаточно точные значения необходимых вероятностных характеристик, требуется проведение большого числа экспериментов.

В то же время использование метода аналитической обработки измерительной информации следует из возможности экстраполирования функций изменения рассматриваемых погрешностей в область будущих значений даже при условии ограниченности числа точек, по которым строится прогнозирующая функция.

Аддитивная модель коррекции систематической погрешности на основе аналитического метода обработки измерений заключается в следующем. Пусть

для некоторой физической величины (параметра)  $x(t)$  известны значения в области  $T_1: x_0, x_1, \dots, x_{n-1}$ . Тогда, используя математически обоснованные методы прогнозирования, производится оценка параметра  $x(t)$  в области будущих значений  $T_2: x_n, x_{n+1}, \dots$

Для прогнозирования погрешностей ИК АИС предлагается ряд формул, который практически исчерпывает используемые аналитические методы экстраполяции и обеспечивает достаточную результативность на малом числе точек (что существенно для данной постановки задачи). Кроме того, такой ряд применим для аналитических функций, охватывающих практически весь диапазон гладких кривых, характерных для описания изменения систематических погрешностей СИ, что позволяет исключить из рассмотрения такие методы экстраполяции, как, например, теория катастроф, экстраполирование сплайнами и т. д., применимые для более сложных аналитических функциональных зависимостей.

В моделях прогнозирования [8] широко используется разностный оператор  $\nabla$ , связывающий приращения функции  $x(t) = \{x_0, x_1, \dots, x_{n-1}\}$  через фиксированные моменты  $t_1 - t_0, t_2 - t_1, \dots, t_{n-1} - t_{n-2}$ :  $\nabla x_i = x_{i+1} - x_i$ . Если приращения аргумента постоянны, т. е.  $\Delta t = t_{i+1} - t_i = \text{const}$ ,  $i = \overline{0, n-1}$ , то приращение аргумента обозначают через  $h = \Delta t$  и именуют шагом. В математических выражениях, используемых для прогнозирования процессов, часто также употребляется параметр  $q = (t - t_0)/h$ , определяющий число шагов для достижения точки  $t$  из точки  $t_0$ .

Оператор  $\nabla$  обладает следующими основными свойствами:

$\nabla^n x_i = \nabla(\nabla^{n-1} x_i)$ ,  $n = 2, 3, \dots$ , например  $\nabla^2 x_0 = \nabla(\nabla x_0) = \nabla(x_1 - x_0) = x_2 - x_1 - x_1 + x_0 = x_2 - 2x_1 + x_0$ ;  
 $\nabla(x_p + x_k) = \nabla x_p + \nabla x_k$ ;  $\nabla(cx_i) = c\nabla x_i$ , где  $c = \text{const}$ ;  $\nabla^m(\nabla^n x_i) = \nabla^{m+n} x_i$ ;  
 $x_{p+1} = x_p + \nabla x_p$  — из определения оператора  $\nabla$ . Последовательно применяя это соотношение  $k$  раз, получаем  $x_{p+k} = (1 - \nabla)^k x_p$ .

Для прогнозирования систематических погрешностей ИК АИС могут быть использованы многочлены  $F_n(t)$   $n$ -степени, удовлетворяющие условиям

$$\begin{cases} F_n(t_i) = x(t_i), & i = 0, 1, 2, \dots, n-1; \\ F_n(t_n + j) - x(t_n + j) < \varepsilon, & \varepsilon \geq 0. \end{cases} \quad (5.30)$$

Известны и широко используются следующие интерполяционные полиномы, удовлетворяющие условиям (5.30).

Первая интерполяционная формула Ньютона имеет вид

$$F_n(t) = x_0 + q\nabla x_0 + \frac{q(q-1)}{2!} \nabla^2 x_0 + \dots + \frac{q(q-1)\dots(q-n+1)}{n!} \nabla^n x_0. \quad (5.31)$$

Эта формула обычно используется для интерполирования функции в окрестности начального значения величины  $t_0$  и экстраполирования назад, в предыдущие моменты.

**Пример.** Построить аналитическую зависимость изменения погрешности СИ по данным периодических поверок (табл. 5.5) и определить погрешность в момент  $t_{-1}$  на один шаг назад (в предыдущее время). Здесь и в последующих примерах для удобства погрешность СИ обозначена через  $x$  без указания размерности.

Чтобы воспользоваться первой формулой Ньютона, составим таблицу разностей (табл. 5.6).

Таблица 5.5

Результаты поверки				
$t$	0	1	2	3
$x$	0	0,1	0,15	0,15

Таблица 5.6

Таблица разностей				
$t$	$x$	$\nabla x$	$\nabla^2 x$	$\nabla^3 x$
0	0	0,1	-0,05	0
1	0,1	0,05	-0,05	
2	0,15	0		
3	0,15			

Подставим полученные значения в (5.31). С учетом того, что  $h=1$ , имеем  $x=0+0,1t-\frac{0,05}{2}t(t-1)$  или  $x=0,125t-0,025t^2$ . Погрешность СИ в момент  $t_{-1}$  равнялась  $x_{-1}=-0,125-0,025=-0,15$ .

Вторая интерполяционная формула Ньютона имеет вид

$$F_n(t) = x_n + q \nabla x_{n-1} + \frac{q(q+1)}{2!} \nabla^2 x_{n-2} + \dots + \frac{q(q+1) \dots (q+n-1)}{n!} \nabla^n x_0, \quad (5.32)$$

где  $q=(t-t_n)/h$ .

Формула (5.32) используется для интерполирования назад и экстраполирования вперед. Например, для условий предыдущего примера при применении второй интерполяционной формулы Ньютона необходимо воспользоваться подчеркнутыми разностями табл. 5.6, так как опорной в этом случае является точка  $\{t_3; \dot{x}_3\}$ . Учитывая, что  $q=t-3$ , получаем  $x=0,15+(t-3) \cdot 0-(t-3)(t-2) \cdot 0,05/2!$  или  $x=0,125t-0,025t^2$ .

Отсюда погрешность СИ в момент  $t_4=4$   $x_4=0,1$ .

Решения по определению погрешностей СИ в моменты  $t_{-1}$  и  $t_4$  можно было бы получить без вывода общей аналитической зависимости, воспользовавшись непосредственными вычислениями по (5.31) и (5.32) соответственно. Применим (5.31) для определения погрешности в момент  $t_{-1}$ . Так как для этого случая  $q=-1$ , то  $x=0+(-1)0,1+(-1)(-2)(-0,05)/2!=-0,15$ . Из (5.32) для момента  $t_4$  следует  $q=1$  и  $x=0,15+0+1 \cdot 2(-0,05)/2!=0,1$ .

В интерполяционных формулах Ньютона в качестве опорной точки используются начальные или конечные результаты числового ряда (данные измерений, проверки и т. д.). В ряде случаев оказываются полезными интерполяционные формулы, содержащие относительно опорного значения предшествующие и последующие значения временного ряда.

Влияние всех членов временного ряда на результаты интерполяции и экстраполяции учитывается через центральные разности  $\nabla x_{-1}$ ,  $\nabla x_0$ ,  $\nabla^2 x_{-1}$ , ... (табл. 5.7).

К числу формул с центральными разностями относятся интерполяционные формулы Гаусса, Стирлинга и Бесселя.

Первая интерполяционная формула Гаусса выражается как

$$\begin{aligned} F_n(t) = & x_0 + q \nabla x_0 + \frac{q(q-1)}{2!} \nabla^2 x_{-1} + \frac{(q+1)q(q-1)}{3!} \nabla^3 x_{-1} + \\ & + \frac{(q+1)q(q-1)(q-2)}{4!} \nabla^4 x_{-2} + \frac{(q+2)(q+1)q(q-1)(q-2)}{5!} \nabla^5 x_{-2} + \dots \\ & \dots + \frac{(q+n-1) \dots (q-n+1)}{(2n-1)!} \nabla^{2n-1} x_{-(n-1)} + \frac{(q+n-1) \dots (q-n)}{(2n)!} \nabla^{2n} x_{-n}. \end{aligned} \quad (5.33)$$

Вторая интерполяционная формула Гаусса

$$\begin{aligned} F_n(t) = & x_0 + q \nabla x_{-1} + \frac{(q+1)q}{2!} \nabla^2 x_{-1} + \frac{(q+1)q(q-1)}{3!} \nabla^3 x_{-2} + \\ & + \frac{(q+2)(q+1)q(q-1)}{4!} \nabla^4 x_{-2} + \dots + \frac{(q+n-1) \dots q \dots (q-n+1)}{(2n-1)!} \nabla^{2n-1} x_{-n} + \\ & + \frac{(q+n)(q+n-1) \dots (q-n+1)}{(2n)!} \nabla^{2n} x_{-n}. \end{aligned} \quad (5.34)$$

Таблица центральных разностей

$t$	$x$	$\nabla x$	$\nabla^2 x$	$\nabla^3 x$	$\nabla^4 x$	$\nabla^5 x$	$\nabla^6 x$	$\nabla^7 x$
$t_{-4}$	$x_{-4}$	$\nabla x_{-4}$	$\nabla^2 x_{-4}$	$\nabla^3 x_{-4}$	$\nabla^4 x_{-4}$	$\nabla^5 x_{-4}$	$\nabla^6 x_{-4}$	$\nabla^7 x_{-4}$
$t_{-3}$	$x_{-3}$	$\nabla x_{-3}$	$\nabla^2 x_{-3}$	$\nabla^3 x_{-3}$	$\nabla^4 x_{-3}$	$\nabla^5 x_{-3}$	$\nabla^6 x_{-3}$	$\nabla^7 x_{-3}$
$t_{-2}$	$x_{-2}$	$\nabla x_{-2}$	$\nabla^2 x_{-2}$	$\nabla^3 x_{-2}$	$\nabla^4 x_{-2}$	$\nabla^5 x_{-2}$	$\nabla^6 x_{-2}$	
$t_{-1}$	$x_{-1}$	$\nabla x_{-1}$	$\nabla^2 x_{-1}$	$\nabla^3 x_{-1}$	$\nabla^4 x_{-1}$	$\nabla^5 x_{-1}$		
$t_0$	$x_0$	$\nabla x_0$	$\nabla^2 x_0$	$\nabla^3 x_0$	$\nabla^4 x_0$			
$t_1$	$x_1$	$\nabla x_1$	$\nabla^2 x_1$	$\nabla^3 x_1$				
$t_2$	$x_2$	$\nabla x_2$	$\nabla^2 x_2$					
$t_3$	$x_3$	$\nabla x_3$						
$t_4$	$x_4$							

Интерполяционная формула Стирлинга получается из первой и второй интерполяционных формул Гаусса как их среднее арифметическое:

$$\begin{aligned}
 F_n(t) = & x_0 + q \frac{\nabla x_{-1} + \nabla x_0}{2} + \frac{q^2}{2} \nabla^2 x_{-1} + \frac{q(q^2-1^2)}{3!} \frac{\nabla^3 x_{-2} + \nabla^3 x_{-1}}{2} + \\
 & + \frac{q^2(q^2-1^2)}{4!} \nabla^4 x_{-2} + \frac{q(q^2-1^2)(q^2-2^2)}{5!} \frac{\nabla^5 x_{-3} + \nabla^5 x_{-2}}{2} + \\
 & + \frac{q^2(q^2-1^2)(q^2-2^2)}{6!} \nabla^6 x_{-3} + \dots + \frac{q(q^2-1^2)(q^2-2^2)(q^2-3^2) \dots [q^2-(n-1)^2]}{(2n-1)!} \times \\
 & \times \frac{\nabla^{2n-1} x_{-n} + \nabla^{2n-1} x_{-(n-1)}}{2} + \frac{q^2(q^2-1^2)(q^2-2^2) \dots [q^2-(n-1)^2]}{(2n)!} \nabla^{2n} x_{-n}. \quad (5.35)
 \end{aligned}$$

Интерполяционная формула Бесселя имеет вид

$$\begin{aligned}
 F_n(t) = & \frac{x_0 + x_1}{2} + \left(q - \frac{1}{2}\right) \nabla x_0 + \frac{q(q-1)}{2} \frac{\nabla^2 x_{-1} + \nabla^2 x_0}{2} + \\
 & + \frac{(q-1/2)q(q-1)}{3!} \nabla^3 x_{-1} + \frac{q(q-1)(q+1)(q-2)}{4!} \frac{\nabla^4 x_{-2} + \nabla^4 x_{-1}}{2} + \\
 & + \frac{q(q-1)(q+1)(q-2)(q+2)(q-3)}{6!} \frac{\nabla^6 x_{-3} + \nabla^6 x_{-2}}{2} + \dots \\
 & \dots + \frac{q(q-1)(q+1)(q-2)(q+2) \dots (q-n)(q+n-1)}{(2n)!} \frac{\nabla^{2n} x_{-n} + \nabla^{2n} x_{-n+1}}{2} + \dots \\
 & + \frac{\left(q - \frac{1}{2}\right) q(q-1)(q+1)(q-2)(q+2) \dots (q-n)(q+n-1)}{(2n+1)!} \nabla^{2n+1} x_{-n}. \quad (5.36)
 \end{aligned}$$

Таблица 5.8

## Результаты проверок и их центральные разности

$t$	$x$	$\nabla x$	$\nabla^2 x$	$\nabla^3 x$	$\nabla^4 x$
1	0,01	0,01	0,02	0,05	0,13
2	0,02	0,03	0,07	0,18	
3	0,05	0,1	0,25		
4	0,15	0,35			
5	0,50				

Для вывода (5.36) использована вторая интерполяционная формула Гаусса, записанная дважды для двух начальных точек  $\{t_0; x_0\}$  и  $\{t_1; x_1\}$ . Взяв среднее арифметическое этих выражений, получим (5.36).

Пример. Временной ряд погрешностей ИК АИС представлен в табл. 5.8.

По (5.33)—(5.36) реализуем прогноз погрешностей ИК АИС для моментов  $t_6=6$  и  $t_7=7$ , т. е. на один и два межповерочных интервала.

Примем  $t_0=3$  и  $x_0=0,05$ , тогда  $q_1=(6-3)/1=3$  и  $q_2=(7-3)/1=4$ . Воспользовавшись формулой (5.33), получим

$$x(t_6)=0,05+3 \cdot 0,1+3 \cdot 2 \cdot 0,07/2!+4 \cdot 3 \cdot 2/3! \cdot 0,18+4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,13/4!=1,41;$$

$$x(t_7)=0,05+4 \cdot 0,1+4 \cdot 3 \cdot 0,07/2!+5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 0,18/3!+5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 0,13/4!=3,32.$$

Из (5.34)

$$x(t_6)=0,05+3 \cdot 0,03+4 \cdot 3 \cdot 0,07/2!+4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 0,05/3!+5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 0,13/4!=1,41;$$

$$x(t_7)=0,05+4 \cdot 0,03+5 \cdot 4 \cdot 0,07/2!+5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 0,05/3!+6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 0,13/4!=3,32.$$

По формуле Стирлинга получим

$$x(t_6)=0,05+3 \cdot \frac{0,03+0,1}{2}+\frac{3^2}{2} \cdot 0,07+\frac{3(3^2-1)}{3!} \cdot \frac{0,05+0,018}{2}+\frac{3^2(3^2-1)}{4!}=1,41;$$

$$x(t_7)=0,05+4 \cdot \frac{0,03+0,1}{2}+\frac{4^2}{2} \cdot 0,07+\frac{4(4^2-1)}{3!} \cdot \frac{0,05+0,18}{2}+\frac{4^2(4^2-1)}{4!}=3,32.$$

Применим формулу (5.36):

$$x(t_6)=\frac{0,05+0,02}{2}+2,5 \cdot 0,1+\frac{3 \cdot 2}{2} \cdot \frac{0,07+0,25}{2}+\frac{2,5 \cdot 3 \cdot 2}{3!} \cdot 0,18+\frac{3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 1}{4!} \cdot \frac{0,13}{2}=1,28;$$

$$x(t_7)=\frac{0,05+0,02}{2}+3,5 \cdot 0,1+\frac{4 \cdot 3}{2} \cdot \frac{0,07+0,25}{2}+\frac{3,5 \cdot 4 \cdot 3}{3!} \cdot 0,18+\frac{4 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 2}{4!} \cdot \frac{0,13}{2}=2,93.$$

Интерполяционная формула Лагранжа

$$F_n(t)=\sum_{i=0}^n x_i \frac{(t-t_0)(t-t_1) \dots (t-t_{i-1})(t-t_{i+1}) \dots (t-t_n)}{(t_i-t_0)(t_i-t_1) \dots (t_i-t_{i-1})(t_i-t_{i+1}) \dots (t_i-t_n)}. \quad (5.37)$$

Эта формула в отличие от всех предыдущих интерполяционных формул может быть использована для анализа временных рядов с произвольным шагом.

Пример. Определить недостающий элемент, табл. 5.9. С учетом (5.37) имеем

$$x(t_3)=0,5 \frac{(3-2)(3-2,5)}{(1-2)(1-2,5)}+0,9 \frac{(3-1)(3-2,5)}{(2-1)(2-2,5)}+1,2 \frac{(3-1)(3-2)}{(2,5-1)(2,5-2)}=1,57.$$

Таблица 5.9

Временной ряд				
$t$	1	2	2,5	3
$x$	0,5	0,9	1,2	?

Из множества критериев, которые могут быть предложены для выбора конкретной формулы интерполяции, наиболее естественным представляется критерий минимума разности между прогнозным и действительным значениями погрешностей ИК АИС. Функции, описывающие в своих комбинациях практически любую гладкую кривую изменения систематических составляющих погрешностей ИК АИС, можно представить следующим набором:

$$y = \sin x; \quad y = \operatorname{tg} x; \quad y = \ln x; \quad y = 1/x; \quad y = a^x; \quad y = \sum_{(i)} a_i x^i. \quad (5.38)$$

Известно, что методы интерполяции (5.31)—(5.37) при различных условиях дают разную точность прогноза на функциях приведенного набора. Это требует предварительной оценки вида функции, которая наиболее полно удовлетворяет условиям (5.30). Правильность определения самого результативного метода интерполяции можно проверить экспериментально с использованием ЭВМ. В ходе эксперимента точность прогноза должна рассматриваться как функция от трех параметров: вида прогнозируемой гладкой функции, числа точек «предыстории» данной функции и глубины прогноза. В одной из программ, разработанных авторами, эти параметры находятся в следующих границах: вид функции взят из числа представленных выше; число известных точек «предыстории»  $N$  изменяется от 3 до 8; глубина прогноза колеблется в пределах от  $0,1h$  до  $2h$ .

На рис. 5.9,  $a$  представлен прогноз функции  $y = \sin x$  по трем точкам на всю длину от  $0,1$  до  $2h$ , на рис. 5.9,  $b$  — аппроксимация полинома по пяти точкам, на рис. 5.9,  $в$  — аппроксимация функции  $y = a^x$  по восьми точкам. В обобщенном виде данные эксперимента по оценке степени соответствия метода интерполяции для каждой из приведенных функций (5.38) представлены в виде двух матриц:

$$M(q \leq 1) = \left\| \begin{array}{cccccc} 4 & 4 & 4 & 4 & 1 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 3 & 2 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right\|, \quad (5.39)$$

$$M(q > 1) = \left\| \begin{array}{cccccc} 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 3 & 1 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right\|, \quad (5.40)$$

где  $j$ -й номер столбца связан с числом  $N$  точек «предыстории» соотношением  $j = N - 2$ , а номер строки соответствует номеру экстраполируемой функции (5.38). Заполнение матриц (элемент  $a_{ij}$ ) определяет рекомендуемую интерполяционную формулу: 1 — первая интерполяционная формула Ньютона; 2 — интерполяционная формула Стирлинга; 3 — интерполяционная формула Бесселя; 4 — интерполяционная формула Лагранжа. При этом первая матрица соответствует условию, что глубина интерполяции не превышает  $h$ , а вторую матрицу рекомендуется использовать при глубине интерполяции, большей  $h$ .

Как видно, четыре интерполяционные формулы дают лучшие результаты при изменении параметров, определяющих точность прогноза. Именно эти формулы рекомендуется использовать для реализации математической модели метода коррекции погрешностей ИК АИС.

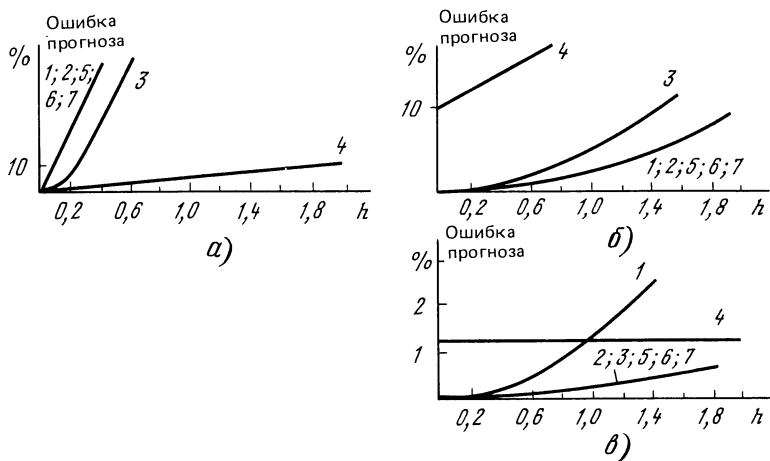


Рис. 5.9. Зависимость погрешности прогноза для функций

$y = \sin x$  (а),  $y = \sum_i a_i x^i$  (б) и  $y = a^x$  (в); 1—первая интерполяционная формула Ньютона; 2—вторая интерполяционная формула Ньютона; 3—интерполяционная формула Бесселя; 4—интерполяционная формула Лагранжа; 5—интерполяционная формула Стирлинга; 6—первая интерполяционная формула Гаусса, 7—вторая интерполяционная формула Гаусса

При малом числе точек наблюдения за изменением погрешности ИК АИС наиболее эффективен метод интерполяции по Лагранжу (за исключением случаев, когда изменение погрешности ИК аппроксимируется выражениями  $y = \log_a x$  и  $y = \sum_{(i)} a_i x^i$ ). С ростом числа точек «предыстории» точность прогноза по

Лагранжу остается приблизительно неизменной (различие не превышает 1...2%), тогда как другие методы оказываются на два порядка точнее, если шаг упреждения прогноза не превышает  $h$ .

## 5.7. Комбинированный метод оценки погрешностей измерительных каналов АИС

В АИС для решения задач прогнозирования погрешностей ИК может быть использована ее управляющая ЭВМ. Наряду с этим измерительные возможности АИС позволяют уточнять данные прогноза с помощью результатов взаимных сличений в области  $T_2$  параметров физических величин, измеряемых и воспроизводимых различными каналами АИС. Например, в составе одной АИС частоту электрических колебаний, воспроизводимую с нормированной точностью генератором, можно измерить частотомером, амплитуду сигнала—мультиметром и т. д. Поэтому в области  $T_2$  для одной и той же физической величины  $x$ , воспроизводимой ( $x_n$ ) и измеряемой ( $x_n$ ) различными каналами АИС, может быть определено действительное значение разности их показаний

$$\Delta_{\Sigma} = x_n - x_n, \quad (5.41)$$

которое должно соответствовать алгебраической сумме прогнозируемых погрешностей измерений  $\Delta_{\Sigma}^{(n)}$  соответствующих ИК:

$$\Delta_{\Sigma}^{(n)} = \Delta_{\Sigma}^{(n)} + \Delta_{\Sigma}^{(n)}. \quad (5.42)$$

Если  $\Delta_{\Sigma} \neq \Delta_{\Sigma}^{(n)}$ , то прогноз выполнен с ошибкой и для оценки погрешностей воспроизводимого и измеряемого каналов можно применить выражения [43]

$$\Delta_{\text{в}}^{(0)} = \Delta_{\text{в}}^{(n)} \pm \varphi_1 [\Delta_{\Sigma}^{(n)} - \Delta_{\Sigma}]; \quad (5.43)$$

$$\Delta_{\text{и}}^{(0)} = \Delta_{\text{и}}^{(n)} \pm \varphi_2 [\Delta_{\Sigma}^{(n)} - \Delta_{\Sigma}], \quad (5.44)$$

где  $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$ .

Значение коэффициента  $\varphi_1$ , дающее минимальную дисперсию оценки  $\Delta_{\text{в}}^{(0)}$ , определяется из выражения

$$\varphi_1 = \pm (K_1 - K_2) / (D\Delta_{\Sigma}^{(n)} - 2K_3 + D_{\Delta_{\Sigma}}), \quad (5.45)$$

где  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  — корреляционные моменты случайных величин  $\Delta_{\text{в}}^{(n)}$  и  $\Delta_{\Sigma}^{(n)}$ ,  $\Delta_{\text{в}}^{(n)}$  и  $\Delta_{\Sigma}$ ,  $\Delta_{\Sigma}^{(n)}$  и  $\Delta_{\Sigma}$  соответственно, а  $D_{\Delta_{\Sigma}^{(n)}}$  и  $D_{\Delta_{\Sigma}}$  — дисперсии соответствующих случайных величин. Аналогично определяется и коэффициент  $\varphi_2$ . В случае равенства прогнозируемых законов распределений погрешностей каналов  $\Delta_{\text{в}}^{(n)}$  и  $\Delta_{\text{и}}^{(n)}$  коэффициенты  $\varphi_1 = \varphi_2 = 1/2$ .

Данный метод корректировки погрешностей ИК может быть распространен и на многомерный случай. Предположим, что в составе АИС имеется  $N$  сравниваемых ИК. Тогда результаты их взаимных сравнений представимы матрицей

$$\Delta = \begin{vmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \dots & \Delta_{1N} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} & \dots & \Delta_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta_{N1} & \Delta_{N2} & \dots & \Delta_{NN} \end{vmatrix}, \quad (5.46)$$

где  $\Delta_{ij} = x_i - x_j$  — разность показаний  $i$ -го и  $j$ -го каналов АИС;  $\Delta_{ii} = 0$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Требуется по данным взаимных сравнений уточнить результаты прогноза  $\Delta_i^{(n)}$  для каждого ИК независимо от того, каким методом прогноз выполнен.

Вполне очевидно, что мерой для уточнения результатов прогноза может стать разность

$$[\Delta_i^{(n)} + \Delta_i^{(n)}] - \Delta_{1i}. \quad (5.47)$$

Чем больше ее величина, тем значительнее поправки, которые следует ввести в данные прогноза первого и  $i$ -го каналов АИС. Выражение (5.47) в полной мере отражает значения всех элементов матрицы (5.46) в силу того, что

$$\Delta_{ij} = \Delta_{kj} - \Delta_{ki}, \quad k = \overline{1, N}. \quad (5.48)$$

Выражение (5.48) следует из вполне очевидных соотношений:

$$\begin{cases} xk - x_i = \Delta k + \Delta_i = \Delta_{ki}; \\ xk - x_j = \Delta k + \Delta_j = \Delta_{kj}. \end{cases}$$

Это означает, что при попарных сравнениях любой из  $N$  каналов АИС может быть выбран в качестве опорного, относительно которого определяются погрешности других ИК.

По данным прогноза и результатам взаимных сравнений оптимальную оценку погрешности  $i$ -го ИК ( $\Delta_i^{(0)}$ ) будем искать методом наименьших квадратов, т. е. потребуем, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^N v_i (\Delta_i^{(0)} - \Delta_i^{(n)})^2 \rightarrow \min \quad (5.49)$$

при известных результатах сравнений

$$\Delta_i^{(0)} + \Delta_j^{(0)} = \Delta_{ij}, \quad (5.50)$$

где  $v_i$  — весовой коэффициент, характеризующий стабильность ИК АИС. С учетом (5.48) и (5.50) выражение (5.49) можно привести к виду

$$\sum_{i=1}^N v_i [\Delta_{ij} - \Delta_j^{(0)} - \Delta_i^{(n)}]^2 \rightarrow \min. \quad (5.51)$$



Оптимальная оценка погрешности  $\Delta_1^{(0)}$  первого ИК, при которой (5.51) имеет минимум, определяется из уравнения

$$\sum_{i=1}^N v_i [\Delta_1^{(0)} - (\Delta_{i1} - \Delta_i^{(n)})]^2 = 0, \quad (5.52)$$

откуда

$$\Delta_1^{(0)} = \sum_{i=1}^N v_i (\Delta_{i1} - \Delta_i^{(n)}). \quad (5.53)$$

Из (5.53) определим дисперсию  $D_0$  погрешности  $\Delta_1^{(0)}$ . Учитывая, что  $v_i$  и  $N$  заранее известны, а  $\Delta_{i1}$  становятся известными после парных сравнений, из (5.53)

$$D_0 = \sum_{i=1}^N v_i^2 D_{\Delta_i^{(n)}} + \sum_{i,j}^N v_i v_j K_{ij}, \quad (5.54)$$

где  $D_{\Delta_i^{(n)}}$  — дисперсия случайной величины  $\Delta_i^{(n)}$ ;  $K_{ij}$  — корреляционный момент величин  $\Delta_i^{(n)}$  и  $\Delta_j^{(n)}$ .

В случае равнозначности всех ИК АИС ( $D_{\Delta_i^{(n)}} = D_{\Delta(n)}$ ;  $v_i = v$ ;  $i = \overline{1, N}$ ) и независимости их друг от друга дисперсия оценки погрешностей ИК

$$D_0 = D_{\Delta}(n)/N. \quad (5.55)$$

Полученное простое выражение означает, что данный метод обеспечивает максимальный выигрыш в точности, в  $\sqrt{N}$  раз больший (относительно среднеквадратического значения оценки погрешности) по сравнению с любым методом прогнозирования.

В связи с тем, что сравнение показаний ИК АИС проводится без привлечения дополнительных средств, не требует больших временных затрат, его можно осуществлять перед каждым применением АИС по назначению, что повышает достоверность контроля технического состояния ОК. Наличие существенных расхождений между данными прогноза и результатами сравнений указывает, что некоторые каналы АИС неисправны и их следует перепроверять в полном объеме с привлечением дополнительных средств проверки. По результатам проверки одного из каналов уточняются метрологические характеристики АИС в целом.

Преимущества изложенного подхода в некоторой степени снижаются из-за сложности определения  $\Delta_i^{(0)}$ . Наличие в (5.53) весового коэффициента

$v_i$  с единственным ограничением вида  $\sum_{i=1}^N v_i = 1$  является малоинформативным,

и введение  $v_i$  мультипликативной константой снижает чувствительность модели, искажает топологию распределения прогнозируемых значений, так как выбор  $v_i$  подвергается в достаточно широком масштабе субъективному взгляду конкретного экспериментатора. Кроме того, в общем случае значения  $v_i$ ,  $i = \overline{1, N}$  непостоянны в области изменения разности  $\Delta_i^{(0)} - \Delta_i^{(n)}$ . Обычно принято считать, что прогнозируемые значения  $\Delta_i^{(n)}$  имеют случайное нормальное распределение. Поэтому расчеты по (5.53), опирающиеся на квантили нормального распределения, громоздки, проводятся методом последовательных приближений и не лишены ошибок.

Для уменьшения отрицательных моментов предлагается для каждого значения прогнозируемой  $\Delta_i^{(n)}$  ввести допустимые границы, нормируемые техническими характеристиками  $i$ -го ИК, что позволит повысить чувствительность и получить параметрическую зависимость между оценкой прогнозируемого значения и погрешностями ИК.

Условно прогнозируемое значение погрешности  $i$ -го ИК можно представить в виде суммы постоянной и случайной составляющих:

$$\Delta_i^{(n)} = \bar{\Delta}_i + \Delta_{ni} \sin \xi_i, \quad (5.56)$$

где  $\bar{\Delta}_i$  — постоянная составляющая погрешности измерений;  $\Delta_{ni}$  — номинальное значение переменной составляющей погрешности измерений;  $\xi_i$  — случайная величина, лежащая в интервале  $[-\bar{n}/2; \bar{n}/2]$ . Тогда с учетом (5.47) должно выполняться условие

$$(\Delta_1^{(n)} + \Delta_i^{(n)}) - \Delta_{1i} = 0 \quad (5.57)$$

или с учетом (5.56)

$$\bar{\Delta}_1 + \Delta_{n1} \sin \xi_1 + \bar{\Delta}_i + \Delta_{ni} \sin \xi_i = 0, \quad i = \overline{2, N}. \quad (5.58)$$

Для определения условий, обеспечивающих выполнение (5.58), рассмотрим минимизирующий функционал

$$F = \sum_{i=2}^N (\bar{\Delta}_1 + \bar{\Delta}_i + \Delta_{n1} \sin \xi_1 + \Delta_{ni} \sin \xi_i - \Delta_{1i})^2 \rightarrow \min. \quad (5.59)$$

Введем следующие обозначения:  $c = \bar{\Delta}_1 + \bar{\Delta}_i$ ;  $r = \Delta_{n1} \sin \xi_1$ ;  $u_i = \Delta_{ni} \sin \xi_i$ . С учетом того, что  $\Delta_{11} = 0$ , выражение (5.59) принимает вид

$$F = \sum_{i=2}^N \{c + r + u_i - \Delta_{1i}\}^2 \rightarrow \min. \quad (5.60)$$

Необходимым условием экстремума функционала (5.60) является совместимость системы уравнений

$$\partial F / \partial u_2 = 0; \quad \partial F / \partial u_3 = 0; \quad \dots; \quad \partial F / \partial u_N = 0. \quad (5.61)$$

При этом исследование совместимости (5.61) сводится к решению уравнений вида

$$u_i = \Delta_{1i} - c - r, \quad i = \overline{2, N}. \quad (5.62)$$

С учетом введенных обозначений получаем искомое значение коррекции для  $i$ -го ИК:

$$\xi_i = \arcsin \frac{\Delta_{1i} - c - \Delta_{n1} \sin \xi_1}{\Delta_{ni}}. \quad (5.63)$$

Реализация данного метода может быть осуществлена на алгоритмическом языке Фортран-IV. Объем, занимаемый пакетом прикладных программ для АИС из 20 ИК в памяти ЭВМ, составляет около 80 кбайт, а среднее время выполнения в расчете на один канал 30 с для ЭВМ ЕС и 45 с для персональной ЭВМ.

## 5.8. Направления совершенствования метрологического обеспечения АИС

Автоматизированные измерительные системы относятся к сложным объектам, построенным на основе тех или иных модификаций сетевых структур с активными узлами. В составе АИС кроме управляющей внешней ЭВМ имеются СИ со встроенными микропроцессорами, способными производить предварительную обработку информации, ее хранение (в тех или иных временных пределах) и передачу. Поэтому можно говорить о сетевых структурах с распределенными параметрами. Наличие в АИС нескольких ЭВМ с функциями контроллера приводит к повышению живучести всей сети, снижает потоки циркулирующей информации, повышает помехоустойчивость измерительных каналов и уменьшает возможность возникновения ошибок при передаче данных по каналам связи.

Рассматривая АИС в качестве распределенных локальных сетей обработки данных, можно получать нетрадиционные измерительные каналы, не предусматривавшиеся на стадии разработки АИС. Описать новые свойства АИС представляется возможным на основе введения понятия экспертной системы.

Экспертная система — совокупность аппаратных и программных средств вычислительной техники, совмещающих информационно-поисковую систему (с базой данных) с системой анализа (с базой знаний). При своей работе экспертная система опирается на активный диалог с пользователем, который поставляет системе по мере необходимости недостающие конкретные данные.

Экспертная система включает в себя четыре основных компонента: базу данных, базу знаний, человеко-машинный интерфейс и машину вывода. База данных и база знаний содержат большой объем фактических данных об элементах предметной области и их взаимосвязях. Человеко-машинный интерфейс служит для объяснения пользователю на языке, максимально приближенном к языку той профессиональной группы, в которой функционирует экспертная система, решений, принятых системой в той или иной момент своего функционирования. И наконец, машина вывода предназначена для получения обоснованных цепочек рассуждений, приводящих к новым знаниям о предметной области, на основе того исходного материала, который накоплен в базах данных и знаний. Реализаций машин вывода может быть множество, в том числе на основе метода математической логики, случайного поиска вывода и др.

Основанная на экспертной системе АИС позволяет, в частности, построить ИК для косвенных измерений физической величины, если по тем или иным причинам штатный ИК не в состоянии обеспечить такие измерения. Для этого в качестве предметной области экспертной системы следует выбрать множество приборов-модулей, которое можно разбить на пересекающиеся подмножества. Каждое такое подмножество упорядочивается в топологически иерархический граф. Каждый объект, входящий в граф, описывается упорядоченным набором характеристик, которые содержат спецификации как входных, так и выходных измеряемых величин, их метрологические характеристики, функции преобразования, реализуемые объектом, и по необходимости ряд других параметров.

Отношения между объектами предметной области порождают возможные системы продуктов, обеспечивающих описания возможных путей выбора (компоновки) ИК. В этом случае при использовании экспертной системы в качестве основного управляющего звена АИС можно реализовать метод, основанный на формальном описании модулей с использованием терминов конкретной предметной области, и применить аппарат поиска в пространстве состояний, например вывод на базе системы продуктов. Процесс выбора (построения) ИК реализуется двумя путями: в автоматическом и диалоговом режимах. При этом задание на построение ИК осуществляется в постановочном виде, т. е. задается цель, но не описывается алгоритм реализации решения этой задачи. Результатом решения будет объединенная в ИК цепочка модулей, обеспечивающая проведение необходимого измерительного процесса.

В рассматриваемом подходе к понятию АИС (при ее интеллектуализации) встает существенный вопрос об аттестации и проверке как отдельных элементов АИС (узлов, каналов, программного обеспечения), так и всей АИС в целом. Что вкладывать в понятие метрологического обеспечения АИС, функционирующей как самонастраивающаяся система, способная изменять конфигурацию своих ИК в зависимости от имеющейся топологии и перечня решаемых измерительных задач? Будет ли аттестация и проверка, выполненные традиционными методами, адекватно отображать в этом случае состояние АИС в целом и метрологические характеристики вновь возникающих каналов? Эти вопросы требуют отдельной серьезной проработки, но представляется возможным уже сейчас определять метрологическое обеспечение АИС как сложную сетевую структуру без фиксированной топологии.

В первую очередь следует отметить, что при таком подходе мы уходим от вопроса метрологического обеспечения АИС, как таковой, а переходим к рассмотрению более общей задачи аттестации и проверки структуры без фиксированной топологии с узлами различной природы. При этом описание узлов (т. е. элементов, входящих в структуру) должно быть однозначным вне зависимости от физической сущности элемента, находящегося в узле. В то же время следует предусмотреть метрологическое обеспечение самой экспертной системы и методов принятия ею того или иного решения (т. е. возникает

сложная и многофакторная проблема верификации экспертной системы в части задач, решаемых в выделенной предметной области), а затем уже осуществить аттестацию и поверку элементов АИС (приборов, программного обеспечения и т. д.), находящихся в отдельных узлах экспертной системы.

Таким образом, метрологическое обеспечение интеллектуализированной АИС с сетевой структурой представляется как минимум двухуровневым. Причем обычные, традиционные методы аттестации и поверки ИК АИС являются лишь вспомогательными, в то время как основная нагрузка падает на метрологическое обеспечение распределенных локальных сетей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Специальное программное обеспечение АИС

Практика создания и эксплуатации АИС определила новые подходы к КОП-ориентированному ПО, сделав его доступным инженеру, метрологу, испытателю, ученому, т.е. пользователю-непрограммисту. В середине 80-х гг. зарубежный рынок программных продуктов пополнился семейством новых интегрированных пакетов, предназначенных для приборно-модульных АИС. Главным принципом, положенным в их основу, стал тезис "чем меньше программирования, тем лучше", что привело к необходимости разработки функционально-полного набора опций не только для КОП, но и для всех остальных ресурсов, имеющихся в ЭВМ. Наиболее известными пакетами такого типа являются: **LabView**, **LabView 2.0**, **LabWindows 1.2** (ф. National); **TestTeam** (ф. Fluke); **WaveTest** (ф. Wavetek San Diego Inc.); **HP ITG/DOS**, **TMSL**, **SCPI** (ф. Hewlett-Packard); **WorkBench PC** (ф. Strawberry Tree Inc.); **SuperScope** (ф. GWInstruments); **Co-Operator** (ф. Capital Equipment Corp.); **TekTMS** (ф. Tektronix); **Labtech Notebook** (GPIB Support Kit), **Acquire** (ф. Laboratory Technologies); **DADISP 488** (ф. DSP Development Corp.); **Asyst 3.0**, **ASYSTANT GPIB** (ф. Software Technologies Inc.); **TestCASE** (ф. Summation Inc.). Ниже для примера приведен набор опций широко распространенной и средней по "мощности" интегрированной оболочки "ASYSTANT GPIB", вер. 1.01 (ф. Asyst Software Technologies).

Приведем алфавит КОП-ориентированных процедур в пакете ASYSTANT GPIB.

**GPIB Main Menu** – основное меню КОП: **Configure Device** – конфигурация прибора; **Interactive Mode** – интерактивный режим; **Program Mode** – программный режим.

Субменю для конфигурации прибора – **Configure Device** (установка имен приборов, их первичных и вторичных адресов, времени ожидания отклика по линиям синхронизации обмена данными).

Основное меню интерактивного режима: **Interactive Mode: Initialize** – инициализация адаптера и АИС; **Set Device** – выбор имени прибора, с которым будет выполняться обмен; **Device Clear** – передача команды СБУ; **Selected Dev Clr** – передача команд МАП и СБА; **Go To Local** – передача команд МАП и ПНМ; **Group Exec Trig** – передача команд МАП и ЗАП; **Local Lockout** – передача команды ЭПМ; **Serial Poll** – выполнение последовательного опроса; **Talk** – передача данных; **Listen** – прием данных.

Субменю последовательного опроса – **Serial Poll** (выбор переменной, в которую будет приниматься БСТ, и битов, которые представляют интерес).

Субменю передачи данных (выбор источника данных: из файла; из переменной или массива; с клавиатуры или строчной переменной) – **Talk: File, Parameter/Variable, Literal**.

Субменю передачи данных из файла (ввод имени файла и ограничителей).

Субменю передачи данных из переменной или массива (выбираются: имя переменной, из которой планируется передача данных; количество чисел и номер элемента, если это массив; формат – двоичный или КОИ7 и необходимые для них атрибуты; ограничитель и разделитель данных).

Субменю передачи данных с клавиатуры (ввод строки и ограничителей).

Субменю приема данных (выбор приемника данных: в файл; в переменную или массив; на дисплей; в "мусорный ящик") **Listen: File, Variable, Display, Wastebasket**.

Субменю приема данных в файл (ввод имени файла, режима его перезаписи или дополнения, формата вводимой информации и ограничителей).

Субменю приема данных в переменную или массив (выбираются: имя переменной, в которую планируется прием данных и режим перезаписи или дополнения; формат – двоичный или КОИ7 и необходимые для них атрибуты; ограничитель и разделитель данных).

Субменю приема данных на дисплей или в "мусорный ящик" (выбирается количество байтов и ограничитель).

Кроме названных операций **ASYSTANT GPIB** позволяет настроить программный режим на прерывание по "низкому" ЗО.

Вычислительные (алгоритмические) ресурсы **ASYSTANT GPIB** представлены системой следующих базовых операций.

**Calculator Functions:** **+** – сложить; **-(минус)** – вычитать; **/** – разделить; **\*** – умножить; **^** – возвести в степень; **pi** – число  $\pi$ ; **sin** – синус; **asin** – арксинус; **sinh** – синус гиперболический; **asinh** – арксинус гиперболический; **inv** – обратная функция; **cos** – косинус; **acos** – аркосинус; **cosh** – косинус гиперболический; **acosh** – аркосинус гиперболический; **neg** – изменение знака на противоположный; **tan** – тангенс; **atan** – арктангенс; **tanh** – тангенс гиперболический; **atanh** – арктангенс гиперболический; **abs** – абсолютное значение; **exp** – экспонента; **ln** – логарифм натуральный; **10exp** – степень 10; **log** – логарифм десятичный; **sqrt** – корень квадратный.

**Array Operations:** **xsect** – элемент массива; **sub** – часть массива; **trans** – транспонирование двумерного массива; **aedit** – ввод данных в массивы; **diag** – главная диагональ двумерного массива; **n: ramp** – генерация массива чисел 1.0, 2.0, 3.0, и т.д.; **nm: ramp** – то же, но для двумерного массива; **reverse** – циклический сдвиг на всю длину массива; **n: rot** – циклический сдвиг на *n* позиций; **cat** – сцепка двух массивов; **lam** – сцепка двух массивов с получением двумерного; **[ ]sum** – сумма всех элементов; **[ ]prod** – произведение всех элементов; **[ ]max** – максимальный элемент; **[ ]min** – минимальный элемент; **^sum** – преобразование по сумме с нарастающим итогом; **^max** – накопление максимума; **^min** – накопление минимума; **reshape** – преобразование одномерного в двумерный; **sort** – сортировка по возрастанию; **index** – создание массива порядковых номеров; **lookup** – сортировка по системе пользователя; **n: search** – выделение части массива по признаку.

**Conversions and Special Functions:** **conj** – преобразование форматов чисел; **mod** – остаток от деления; **xu>z**, **z>xu**, **ra>z**, **z>ra** – преобразование комплексных чисел в вещественные и наоборот; **xu>pol**, **pol>xu** – преобразование в полярные координаты и наоборот; **xu>sph**, **sph>xu** – преобразование в сферические координаты и наоборот; **Erf** – нормальное распределение; **n!** – факториал; **n:C:r** – перестановки; **n:P:r** –

сочетания; Jn, Yn, sJn, sYn – функции Бесселя; K(m), E(m) – эллиптические интегралы; Gamma – гамма-функция; Betax(a,b) – бета-функция.

Wave and Matrix Operations: smooth – фильтрация; integ – интегрирование; diff – дифференцирование; fft, ifft, 2d:fft, 2d:ifft, pwtfreq – Фурье-преобразования; autocorr – автокорреляционная функция; convolve – аperiodическое биение; window, Hilbt – преобразование пространств; crosscorr – взаимная корреляция; avg – математическое ожидание; stdev – среднеквадратическое отклонение; max, min – сравнение двух массивов; solve:eqs, trace, matrix\*, kronec\*, determ, inv\mat – операции с матрицами.

Это перечень только элементарных операций. Кроме того, в пакете реализован ряд специальных субменю, включающих более 200 различных преобразований и вычислений. Верхний уровень этого субменю следующий.

Main Menu Options: Polys – раздел для вычисления полиномов; Curve Fit – раздел для выполнения различных преобразований над массивами (работа производится в графическом режиме и сопровождается постоянным отображением этих массивов в виде графиков, что производит впечатление операций над функциями); Diff Eqs – раздел для интегрирования и дифференцирования; Wave Gen – раздел для формирования массивов по различным формулам и статистическим законам; Stats – раздел для проведения статистической обработки массивов чисел.

Для целей построения АИС список операций по управлению КОП и вычислительных ресурсов ASYSTANT GPIB является вполне достаточным. Интерфейс ввода, вывода, отображения и сохранения данных и результатов в пакете ASYSTANT GPIB представлен следующим образом.

Operations – меню стандартных операций ввода-вывода: Print File – печать файла; Delete File – уничтожение файла; Copy File – копирование файла; Rename File – переименование файла; Directory – выбор рабочего директория.

Main Menu Options – основное меню ASYSTANT GPIB: File Proc – ввод-вывод данных; File I/O – преобразование-ввод-вывод данных; Graphics – субменю представления массивов в виде графиков на экране дисплея и плоттере (многооконный режим, цветное выделение, автоматический расчет пределов и т.д.); Wave Proc – субменю для исследования графиков (более 100 различных опций, позволяющих определять точечные значения на графиках, выделять элементы графиков, запоминать и восстанавливать их, работать в режиме лупы и т.д.).

File Proc: File > File – обмен данными между файлами; File > Var – чтение данных; Var > File – запись данных.

File I/O: File/Var Transfer – ввод-вывод данных; Convert File Types – преобразование файлов данных, подготовленных в иных форматах.

Save – сохранение программ пользователя на диске. Recall – считывание ранее созданных программ с диска. Ctrl-F – сохранение копии экрана в файле редактора.

Notepad – (редактор текстов) – стандартный набор опций для редакторов текстов: F1 Word; F3 Page; F5 Direction; F7 Block Mark; F9 Save; F2 Line; F4 File; F6 Find&Repl; F8 Block Oper; F10 Exit.

Если к этому добавить интерактивный режим работы ASYSTANT GPIB, средства диагностики и прочие атрибуты "дружественности" с пользователем, а также графические оболочки, реализованные во многих других пакетах, "всплывающие" окна с передними панелями приборов, то, безусловно, интегрированные КОП-ориентированные пакеты – перспективное направление создания программного обеспечения АИС.

Наибольший интерес представляют пакеты, в которых помимо интерактивного режима реализована возможность создания программ с целью их сохранения и многократного исполнения в дальнейшем. Обычно для их реализации используются: специальная надстройка над пакетом; индивидуальные правила программирования;

специальный синтаксис и семантика, иногда даже несколько отличающиеся от основного меню.

Следовательно, хотя интегрированные пакеты – это лучшее, что есть в настоящее время среди ПО АИС, целесообразно иметь возможность обеспечить полное соответствие программного и интерактивного режимов. Кроме того, желательно расширить средства диагностики и подсказки оператору, особенно в части управления различными приборами по КОП.

Первый отечественный пакет такого класса, разработанный в 1992 г. с учетом зарубежного опыта и перечисленных пожеланий, имеет название FIDES 2.1 (Москва, ф. Фидес Ltd.).

Пакет FIDES (версия 2.1) ориентирован на компьютеры IBM-PC, имеющие версию ДОС не ниже 3.30, объем оперативной памяти не менее 640 Кбайт, стандартный графический адаптер не младше CGA, и включает в себя плату-адаптер КОП, комплекс программных средств, объединенных единой структурой, и техническую документацию.

Плата-адаптер выполнена по принципу эмулятора (см. гл. 2), что позволяет обеспечить максимальную степень диагностики КОП. Благодаря реализации в драйвере специального блока настройки пакет FIDES может использоваться с любыми другими средствами аппаратной поддержки приборного интерфейса, в том числе, легко адаптируется к новым разработкам. Версия 2.1 может быть настроена на новую плату КОП только в условиях изготовителя. Более старшие версии будут иметь меню выбора адаптеров из числа серийно выпускаемых, а следовательно, настройка станет доступной пользователю.

Техническая документация (инструкция пользователю) содержит всю необходимую информацию о режимах работы пакета.

Квинтэссенцией пакета FIDES является ПО. Основная цель данной разработки заключается в следующем.

FIDES 2.1 – первый русский пакет по автоматизации контроля, диагностики, поверки и эксперимента. Являясь его обладателем, с помощью только "мышки" можно создать программу управления, сбора и обработки данных в самых разнообразных автоматизированных измерительных системах, провести любой эксперимент в диалоговом режиме и, наконец, найти "общий язык" со всеми отечественными приборами, чего не позволяет сделать ни один аналогичный импортный пакет. Предлагается макросреда FIDES, система диагностики и тестер-анализатор IEEE-488, встроенные в суперпакет FIDES 2.1.

Для разработки программы потребуется не больше одного дня, не нужны навыки программиста и тем более знание алгоритмических языков, в том числе языка самого пакета FIDES. Нет необходимости изучать интерфейс программируемых приборов IEEE-488 (МЭК 625.1, IEC-BUS, КОП). Пользователю достаточно быть специалистом в своем деле – испытателем, ученым, инженером, метрологом и уметь правильно нажимать на одну единственную кнопку "мышки". Все остальное, простое и сложное, делает FIDES 2.1.

Другими словами, структура построения и организация FIDES обеспечивают полное совмещение интерактивного и программного режимов, а следовательно, создание АИС становится доступным пользователю-непрограммисту.

Одновременно решается вторая важнейшая задача – диагностика приборов. Для этого предусмотрено субменю "Если прибор не идет...": Ничего не получается, Не могу передать данные, Не могу принять данные, Не могу принять БСТ, войдя в которое, пользователь получает информацию либо о том, что прибор неисправен в части КОП, либо о том, что он (пользователь) что-то делает неправильно. Последнее может быть обусловлено недостатками в технической документации на прибор, неправильной установкой органов управления на приборе, неправильным использованием опций



пакета и др. Субменю "Если прибор не идет..." не является "панацеей" от всех неудач, но в ряде случаев может оказать реальную помощь, что подтверждается практикой применения FIDES. В основу ПО, реализующего это субменю, положен ряд идей системы ETLL и методики обучения работе с приборами по КОП (см. гл. 2), а также другие методы. С целью диагностирования в FIDES встроен расширенный тестер КОП, на базе которого можно не только асинхронно управлять линиями, но и проводить тестирование в автоматизированном режиме. Назначение дополнительных опций: Байт – установка байта на ШД (выбирается из таблицы КОИ-8); СПРМ – передача одного байта в КОП; СИПД – прием одного байта из КОП; БСТ – прием байта состояния из КОП или от выбранного в Адр. прибора; Адр. – передача первичных и вторичных адресов (из таблицы) или выбор прибора; К-ды – передача команд (из таблицы); Прием? – прием данных из КОП или от выбранного прибора; Передача – передача данных в КОП или выбранному прибору.

С учетом перечисленных возможностей встроенный в пакет тестер соизмерим по ресурсам с анализатором КОП ЦА-1.

Для управления КОП FIDES предлагает следующее субменю.

Основное меню КОП: ПРИЕМ; ПЕРЕДАЧА; ПРИБОР; КОМАНДЫ; ЛИНИИ; БАЙТ СОСТОЯНИЯ; ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ОПРОС; ИДЕНТИФИКАЦИЯ; ПРЕРЫВАНИЕ ОТ 30 {имя исполняемой программы}; ДАННЫЕ О СОСТОЯНИИ; конфигурация (конфигурация АИС на проведение параллельного опроса); установка тайм-аута{число}.

Субменю ПРИБОР: глобальный ограничитель приема{байт}; АКТИВИЗИРОВАТЬ, СДЕЛАТЬ ПАССИВНЫМ / {имя}; ИЗМЕНЕНИЯ В СТАРОМ, НОВЫЙ {имя, массивы[[индекс]]} / :первичный адрес 0 ... 30 / вторичного адреса нет, вторичный адрес 0 ... 30 / ограничители приема и передачи, линия и статус на параллельном опросе (настройка на прибор).

Субменю БАЙТ СОСТОЯНИЯ: M0 ... M9, P1 ... P50 (имена массивов или переменных, в которые принимается байт состояния).

Субменю ИДЕНТИФИКАЦИЯ: M0 ... M9, P1 ... P50 (имена массивов или переменных, в которые принимается РОП).

Субменю ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ОПРОС: M0 ... M9 (выполняется прием и распаковка БСТ от всех приборов с записью всех битов и байта в целом в выбранном массиве по определенному закону).

Субменю ПРИЕМ: адаптивный; В ПЕРЕМЕННУЮ / P1 ... P50; В СТРОКУ / S1 ... S30 (имена строк), сцепка {S1..S30}; В МАССИВ / M0 ... M9, сцепка {M0..M9} / ФОРМАТ КОИ-7, ДВОИЧНЫЙ ФОРМАТ / далее – уточнения: с какого байта начинать анализ, из скольких байтов состоит число, есть ли знак, порядок следования байтов, тип разделителя (конкретный выбор перечисленных опций зависит от типа формата).

Субменю КОМАНДЫ: СТРОКА {S1 ... S30}; АДРЕС ИСТОЧНИКА, АДРЕС ПРИЕМНИКА, ВТОРИЧНЫЙ АДРЕС {0 ... 31}; ПНМ, СБА, КНР, ЗАП, ВУП, ЗПМ, СБУ, ДПР, ОПО, ЗПО, НПМ, НПД.

Субменю ПЕРЕДАЧА: группы символов{группа символов}; ИЗ СТРОКИ / S1 ... S30 (имена строк), сцепка {S1..S30}; ИЗ ПЕРЕМЕННОЙ / P1 ... P50, ИЗ МАССИВА / M0 ... M9, сцепка {M0..M9} / ФОРМАТ КОИ-7, ДВОИЧНЫЙ ФОРМАТ / далее уточнения: для формата КОИ-7: целый, фиксированный или экспоненциальный / какова длина, если фиксированный / тип разделителя; для двоичного: сколько байтов в числе / порядок их следования / наличие знака / тип разделителя; для любого формата: заголовок посылки, заголовок каждого числа, концовка посылки, концовка каждого числа.

**Субменю ЛИНИИ:** установка любой линии в любое состояние; установка байта на ШД (в том числе равного переменной); прием состояния любой линии или ШД в массив, строку или переменную.

Представленный набор предельно прост и понятен пользователю, максимально полон и позволяет даже синтезировать алгоритмы обмена данными за счет наличия субменю :ЛИНИИ. В нормальных условиях пользователь может вообще не знать ГОСТ 26.003-80 и не читать документацию на прибор. Посредством опций :ПРИЕМ – адаптивный и :ПЕРЕДАЧА – :ИЗ ПЕРЕМЕННОЙ (:ИЗ МАССИВА) расшифровка и кодирование информации выполняется интеллектуальными средствами пакета. Практика показывает, что в 95% случаев FIDES справляется с поставленной задачей.

Ниже приводятся вычислительные (алгоритмические) средства пакета.

**Меню ЗНАЧЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ МАССИВОВ:** M1 ... M1 / автоопределение {ввод чисел вручную}; ТЕКУЩИЙ РАЗМЕР, 1024 ТОЧКИ, НОВЫЙ РАЗМЕР[индекс], ОТРЕЗОК МАССИВА[индекс,индекс], ВСЕ МАССИВ / константа{число}, приращение{число,число}, приращение +1, приращение -1.

**Меню СТРОКИ.**

**Субменю ОПРЕДЕЛИТЬ:** S1 ... S30 / ТЕКУЩИЙ РАЗМЕР, 255 СИМВОЛОВ, НОВЫЙ РАЗМЕР[индекс], ЧАСТЬ СТРОКИ[индекс,индекс], ВСЮ СТРОКУ / символ{символ}, приращение{число,число}, приращение +1, приращение -1.

**Субменю ДЕЙСТВИЯ / ТОЛЬКО СО СТРОКАМИ:** В S1 ... S30 / ВЫДЕЛИТЬ / ГРУППУ СИМВОЛОВ[индекс,индекс], ОДИН СИМВОЛ[индекс] / результат в S1 ... S30; УДАЛИТЬ / все, ПОСЛЕД. СИМВОЛОВ{группа символов} / везде, только первый раз; ФРАГМЕНТ СТРОКИ / с начала[индекс], с конца[индекс], в середине[индекс,индекс]; ВСТАВИТЬ / ПОДСТР-КУ{группа символов}, СТР-КУ S1 ... S30 / в начало, в конец, в середину[индекс]; НАЙТИ / ПОДСТРОКУ{группа символов}, СТРОКУ S1 ... S30 / результат в P1 ... P50; ЗАМЕНИТЬ ДАННЫЕ / НА S1 ... S30 / всю, часть[индекс]; изменить размер[число].

**Субменю ДЕЙСТВИЯ / СМЕШАННЫЕ:** ЧИСЛО В СТРОКУ (выполняется форматированное преобразование числа в цепочку символов или последовательность двоичных эквивалентов); СТРОКУ В ЧИСЛО (обратное преобразование).

**Субменю МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА / ГРАФИКИ:** по M0 построить ... по M9 построить / ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ, ВЕРОЯТНОСТЬ (количество итераций) / запомнить в M0 ... M9.

**Субменю МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА / ПАРАМЕТРЫ:** P1 ... P50 / МАТ. ОЖИДАНИЕ, С.К.О., АССИМЕТРИЯ, ЭКСЦЕСС / M0 ... M9; ЗАПОЛНЕНИЕ / M0 ... M9 / РАВНОМЕРНЫЙ ЗАКОН, НОРМАЛЬНЫЙ ЗАКОН, ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ ЗАКОН / диапазон[0,1], другой диапазон[число,число].

**Субменю АЛГЕБРА:** M0 = [[индекс]] ... M9 = [[индекс]], P1 ... P50 / равенство, модуль, дробная часть, целая часть, квадрат, корень квадратный, ln, exp / константа{число}, M0[[индекс]] ... M9[[индекс]], P1 ... P50.

**Субменю АЛГЕБРА:** M0 = [[индекс]] ... M9 = [[индекс]], P1 ... P50 / КОНСТАНТА{число}, M0[[индекс]] ... M9[[индекс]], P1 ... P50 / +, -, \*, \, ^ / константа{число}, M0[[индекс]] ... M9[[индекс]], P1 ... P50.

**Субменю ТРИГОНОМЕТРИЯ:** M0 = [[индекс]] ... M9 = [[индекс]], P1 ... P50 / sin, cos, tg, ctg, arcsin, arccos, arctg, arctg / константа{число}, M0[[индекс]] ... M9[[индекс]], P1 ... P50.

Ввод, вывод, отображение и программный режим содержат следующие опции:

**Меню ГРАФИКА:** одно окно{какие массивы рисовать}, четыре окна{какие массивы и в каких окнах рисовать}, девять окон{какие массивы и в каких окнах рисовать}.

Меню ФАЙЛЫ: СЧИТАТЬ, ЗАПИСАТЬ / текущую задачу, M0 ... M9, S1 ... S30 / новый{имя файла}, имя существующего; ОПРЕДЕЛИТЬ ПУТЬ / по умолчанию (DAN\_BLK), показать текущий, Диск A ... Диск I / этот директорий, новый директорий, имя существующего / этот директорий, новый директорий, имя существующего / и т.д. в зависимости от структуры записей на диске.

Меню ПОКАЗАТЬ: МАССИВ / M0 ... M9; СТРОКУ / S1 ... S30; ПЕРЕМЕННУЮ / P1 ... P50.

Меню РЕДАКТОР: уничтожить текущую задачу, ВЫЗОВ ФАЙЛА С ДИСКА {имя файла}, ТЕКУЩИЙ НАБОР СТРОК, НОВЫЙ ФАЙЛ / РЕДАКТИРОВАНИЕ / новый{имя файла}, имя существующего ... имя существующего / ИЗМЕНЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ ПРОГРАММЫ.

Меню ОПЦИИ ПРОГРАММНОГО РЕЖИМА: мелодия; ПАУЗА / продолжительностью {время}, с информацией {текст}; ЗАПИСЬ ДАННЫХ, ВВОД ДАННЫХ {заголовок} / МАССИВ, СТРОКУ, ПЕРЕМЕННУЮ / M0 ... M9, S1 ... S30, P1 ... 50; ЛОГИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ {логическое условие} / ЕСЛИ ДА / ПРОДОЛЖИТЬ, ПЕРЕЙТИ НА СТРОКУ {номер строки}, ВЫПОЛНИТЬ ПРОГРАММУ {имя} / ЕСЛИ НЕТ / ПРОДОЛЖИТЬ, ПЕРЕЙТИ НА СТРОКУ {номер строки}, ВЫПОЛНИТЬ ПРОГРАММУ {имя}.

Меню ИСПОЛНИТЬ: ПРОГРАММУ {имя}, ТЕКУЩУЮ ЗАДАЧУ / целиком, частично {номер, номер}.

Меню НАСТРОЙКИ: шаг вкл., шаг выкл., звуковое сопровождение вкл., звуковое сопровождение выкл., останов на локальных ошибках, без ост. на локальных ошибках, немедленное исполнение, нет исполнения.

Программа, которую можно запомнить и затем многократно исполнять, создается в FIDES независимо от желания оператора. Если оператор выбрал, например, опцию КОП – ПРИЕМ – адаптивный, то одновременно с исполнением этой процедуры будет сформирована соответствующая строка программы. Следовательно, если однократно исполнить желаемый алгоритм, текст программы, реализующий его, уже полностью готов (аналог макрорежима, применяемого в ряде различных оболочек). Однако в отличие от обычных "макро" программный режим FIDES позволяет: использовать переменные для индексирования массивов и строк; считывать и исполнять другие программы во время работы основной (глубина вложенности – 3); вызывать и исполнять программы, написанные на других языках, имеющие расширения ".exe", и ".com"; исполнять программы в пошаговом режиме (трассировка); прерывать исполнение программ; обрабатывать прерывание, поступающее от линии ЗО из КОП с возвратом на точку прерывания и продолжением исполнения прерванной программы; изменять порядок выполнения операторов в программе по условию; вводить дополнительные данные в процессе работы программы; формировать выходные файлы отчета; выводить различную информацию для оператора; использовать паузу и многое другое. Кроме этого, FIDES имеет встроенный редактор, предназначенный для внесения изменений в ранее созданные программы и в текущий набор операторов.

Максимальный объем программы в FIDES – 1000 000 строк. Длина одной строки – до 255 символов. Более старшие версии FIDES будут иметь компилятор, позволяющий запускать созданные в пакете программы непосредственно из ДОС.

Направления дальнейшего развития и совершенствования пакета FIDES 2.1: подключение библиотеки заранее созданных меню для обмена по КОП с приборами конкретных типов; новые подсистемы обработки данных в части графического интерфейса и статистических операций; разработка компилятора программ; разработка аналога FIDES на английском языке и ряд других.

## Список литературы

1. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин/Под ред. А. А. Сазонова.—М.: Изд-во стандартов, 1987.—328 с.
2. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем.—М.: Высшая школа, 1982.—232 с.
3. Берсенов В. Л., Гимади Э. Х., Дементьев В. Г. Экстремальные задачи стандартизации.—Новосибирск: Наука, 1978.—330 с.
4. Вейцман К. И. Распределенные системы мини- и микроЭВМ.—М.: Финансы и статистика, 1983.—382 с.
5. Гончарский А. В., Черепашис А. И., Ягола А. Г. Численные методы решения обратных задач астрофизики.—М.: Наука, 1978.—335 с.
6. Горлач А. А., Минц М. Я., Чинков В. Н. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике.—Киев: Техника, 1985.—151 с.
7. Дахман А. Итерационный метод решения некорректных задач при случайных ошибках в данных// Аналитические методы в вероятностных задачах.—Киев: ИМ АН УССР, 1988.—С. 28—33.
8. Демидович Б. П., Мирон И. А. Основы вычислительной математики.—М.: Гос. изд. физико-математической литературы, 1960.—660 с.
9. Дмитриев Ю. К., Хорошевский В. Г. Вычислительные системы из мини-ЭВМ/Под ред. Э. В. Евреинова.—М.: Радио и связь, 1982.—304 с.
10. Долгов В. А., Касаткин А. С., Сретенский В. Н. Радиоэлектронные автоматические системы контроля/Под ред. В. Н. Сретенского.—М.: Сов. радио, 1978.—384 с.
11. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике.—М.: Гостехиздат, 1955.—556 с.
12. Дымант Л. И., Веселков А. Н., Барановский С. Ф. Использование ассоциативного вариационного принципа для обработки результатов наблюдений// Приборостроение.—1986.—№ 11.—С. 7—13.
13. Иванов Е. Л., Степанов И. М., Хомяков К. С. Периферийные устройства ЭВМ и систем.—М.: Высшая школа, 1987.—320 с.
14. Интерфейс для программируемых приборов в системах автоматизации эксперимента/Н. И. Гореликов, А. Н. Домарацкий, С. Н. Домарацкий и др.—М.: Наука, 1981.—261 с.
15. Капиев Р. Э. Измерительно-вычислительные комплексы.—Л.: Энергоатомиздат, 1988.—176 с.
16. Кейслер С. Проектирование операционных систем для малых ЭВМ.—М.: Мир, 1986.—680 с.
17. Кипаренко В. И. Стандартизация интерфейсов микропроцессорных систем// Микропроцессорные средства и системы.—1988.—№ 6.—С. 68—84 и 1988.—№ 1.—С. 35—39.
18. Козленко В. Я. Применение методов теории катастроф и теории фракталей для повышения качества измерительной информации// Зарубежная радиоэлектроника.—1988.—№ 10.—С. 11—20.
19. Колпаков И. Ф. Шина МЕ и ее применение// Микропроцессорные средства и системы.—1987.—№ 5.—С. 43—46.
20. Корбут А. А., Финкельштейн Ю. Ю. Дискретное программирование.—М.: Наука, 1969.—368 с.

21. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики.—М.: Энергия, 1980.— 424 с.
22. Кудрицкий В. Д., Сеница М. А., Чинаев П. И. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры/Под ред. П. И. Чинаева.—М.: Сов. радио, 1977.— 256 с.
23. Кузнецов Ю. Н., Кузубов В. И., Волощенко А. Б. Математическое программирование.—М.: Высшая школа, 1980.— 303 с.
24. Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизация АСКУ.—М.: Сов. радио, 1971.— 240 с.
25. Курочкин С. С. Система КАМАК-Вектор.—М.: Энергоатомиздат, 1981.— 232 с.
26. Лайнбек Д. Р. Версия шины IEEE-488 для локальных сетей//Электроника.— 1983.— Т. 56, № 16.— С. 52—61.
27. Линейное и нелинейное программирование/Под ред. И. Н. Ляшенко.—Киев: Вища школа, 1975.— 372 с.
28. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул.—М.: Высшая школа, 1982.— 234 с.
29. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем//Сборник руководящих документов.—М.: Изд-во стандартов, 1984.— 264 с.
30. Микропроцессорные комплекты интегральных микросхем. Т. 1/Под ред. В. А. Шахнова.—М.: Радио и связь, 1987.— 367 с.
31. МикроЭВМ (в восьми книгах)/Под ред. Л. Н. Преснухина.—М.: Высшая школа, 1988.
32. Мирский Г. Я. Микропроцессоры в измерительных приборах.—М.: Радио и связь, 1984.— 160 с.
33. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений.—М.: Наука, 1971.— 576 с.
34. Мудров В. И., Кушко В. Л. Методы обработки измерений. Квазиправдоподобные оценки.—М.: Радио и связь, 1983.— 192 с.
35. Мячев А. А., Иванов В. В. Интерфейсы вычислительных систем на базе мини- и микроЭВМ.—М.: Радио и связь, 1986.— 247 с.
36. Мячев А. А. Организация управляющих вычислительных комплексов.—М.: Энергия, 1980.— 272 с.
37. Мячев А. А., Степанов В. Н., Щербо В. К. Интерфейсы системы обработки данных.—М.: Радио и связь, 1989.— 416 с.
38. Науман Г., Майлинг В., Щербина А. Стандартные интерфейсы для измерительной техники.—М.: Мир, 1982.— 304 с.
39. Новиков В. С. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования.—М.: Транспорт, 1987.— 262 с.
40. Новицкий П. В., Зиграф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений.—Л.: Энергоатомиздат, 1985.— 248 с.
41. Основы эксплуатации средств измерений/В. А. Кузнецов, А. Н. Пашков, О. А. Подольский и др.; Под ред. Р. П. Покровского.—М.: Радио и связь, 1984.— 184 с.
42. Проектирование внешних средств автоматизированного контроля радиоэлектронного оборудования/Под ред. Н. Н. Пономарева.—М.: Радио и связь, 1984.— 295 с.
43. Пугачев В. Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик.—М.: Сов. радио, 1973.— 224 с.
44. РД50—397—83. Единая система стандартов приборостроения. Оптимизация параметрических рядов средств измерений и автоматизации. Базовые модели.—М.: Изд-во стандартов, 1983.— 20 с.
45. Савин С. К., Никитин А. А., Краченко В. И. Достоверность контроля сложных радиоэлектронных систем летательных аппаратов/Под ред. С. К. Савина.—М.: Машиностроение, 1984.— 168 с.
46. Соболев В. И. Информационно-статистическая теория измерений.—М.: Машиностроение, 1983.— 280 с.
47. Соучек Б. Микропроцессоры и микроЭВМ: Пер. с англ./Под ред. А. И. Петренко.—М.: Сов. радио, 1979.— 520 с.
48. Тимофеев Е. Ю., Сергеев Л. В. Базовая математическая модель оптимизации параметрических рядов средств измерений и автоматизации//Повышение

- технического уровня изделий машиностроения и приборостроения на основе стандартизации.—М.: Изд-во ВНИИНМАШ, 1982.—Вып. XI.—С. 112—123.
49. Тимофеев Е. Ю. Сопряжение персональных ЭВМ с приборным интерфейсом// Микропроцессорные средства и системы.—1988.—№ 1.—С. 58—61.
  50. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач.—М.: Наука, 1979.—286 с.
  51. Устройство связи микроЭВМ с объектами управления по волоконно-оптической линии// Микропроцессорные средства и системы.—1986.—№ 2.—С. 43—46.
  52. Хазанов Б. И. Интерфейсы измерительных систем.—М.: Энергия, 1979.—120 с.
  53. Deaston J. Structure des bus dans Jarchitecture Multibus II//Electronique Industrielle,—1984.—№ 63/15—01.—Р. 49—53.
  54. Geoffrion A. M. Integer programming by implecit enumeration and Balas' method//SIAM Rev.—1967.—Vol. 9, № 2.—Р. 178—190.
  55. Quick R. D., Harper S. L. HP-IL: A low-cost digital interface for portable applications//Hewlett-Packard Journal.—1983.—Vol. 34, № 1.—Р. 2—23.
  56. Viggen Avionics Support. Automatic measurement systems//Applications Series. Hewlett-Packard.—12 p.
  57. Wayne Labs. VME becomes VXI in test and measurement//I&CS.—1987, September.—Р. 57—59.
  58. Десжарден Л. Как построить свою первую испытательную систему на базе шины VXI-bus//Электроника.—1991.—№ 4.—С. 41—46.
  59. Узбер С. Движение в поддержку шины VXI быстро набирает силу//Электроника.—1989.—№ 16.—С. 73—80.

## Оглавление

Введение .....	3
<b>Глава 1. Общие вопросы построения автоматизированных измерительных систем .....</b>	<b>6</b>
1.1. Назначение и принципы построения АИС .....	6
1.2. Структура и состав универсальной АИС .....	11
1.3. Техничко-экономические показатели качества АИС .....	14
<b>Глава 2. Совместимость средств приборно-модульных АИС .....</b>	<b>22</b>
2.1. Виды и условия совместимости .....	22
2.2. Назначение, классификация и варианты применения интерфейсов .....	24
2.3. Стандартный интерфейс для приборно-модульных АИС .....	28
2.3.1. Технические характеристики интерфейса КОП .....	28
2.3.2. Реализация и работа интерфейса КОП .....	31
2.4. Расширение функциональных возможностей интерфейса КОП .....	108
2.5. Диагностика интерфейса КОП .....	122
<b>Глава 3. Приборы-модули универсальных АИС .....</b>	<b>124</b>
3.1. Номенклатура и технические характеристики агрегируемых средств измерений .....	124
3.2. Приборы для воспроизведения постоянного и переменного напряжения (приборы вида В1) .....	187
3.3. Приборы для измерения постоянного и переменного напряжения (В2, В3, В7) .....	190
3.4. Стандарты частоты и времени (вида Ч1) .....	195
3.5. Электронно-счетные частотомеры (вида Ч3) .....	195
3.6. Приемники сигналов эталонных частот и сигналов времени. Компараторы частотные и фазовые (приборы вида Ч7) .....	197
3.7. Измерители разности фаз (вида Ф2) .....	200
3.8. Анализаторы спектра (вида С4) .....	202
3.9. Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала (вида С9) .....	205
3.10. Анализаторы сигнатурные (вида Ц3) .....	208
3.11. Ваттметры поглощаемой мощности (вида М3) .....	210
3.12. Приборы для измерения параметров трактов с распределенными постоянными (подгруппа Р) .....	211
3.13. Измерительные генераторы (подгруппа Г) .....	216
3.14. Генераторы импульсов (видов И1, Г5) .....	220
3.15. Генераторы сигналов специальной формы (вида Г6) .....	222
3.16. Расширение функциональных возможностей средств измерений .....	224
<b>Глава 4. Средства вычислительной техники для АИС .....</b>	<b>229</b>
4.1. Назначение и режимы работы .....	229
4.2. Универсальный метод сопряжения ЭВМ с интерфейсом КОП .....	233

4.2.1. Адаптер ЭВМ—КОП .....	233
4.2.2. Программное обеспечение .....	233
4.2.3. Сопряжение с ЭВМ СМ1403 .....	240
4.2.4. Сопряжение с ЭВМ СМ1800 при использовании языка Бейсик-80 .....	242
4.3. Элементы работы КОП в мультитерминальных и мультипро- граммных режимах .....	247
4.4. Определение номенклатуры модулей для АИС .....	250
<b>Глава 5. Метрологическое обеспечение АИС .....</b>	<b>259</b>
5.1. Погрешности измерительных каналов АИС .....	259
5.2. Виды метрологического обеспечения .....	271
5.3. Аттестация АИС .....	272
5.4. Поверка АИС .....	274
5.5. Метод аналитической обработки измерительной информации (случайная составляющая погрешности) .....	277
5.6. Метод аналитической обработки измерительной информации (систематическая составляющая погрешности) .....	280
5.7. Комбинированный метод оценки погрешностей измерительных каналов АИС .....	286
5.8. Направления совершенствования метрологического обеспечения АИС .....	289
Приложение. Специальное программное обеспечение АИС .....	292
Список литературы .....	299



## **Справочное издание**

**Кузнецов Вениамин Алексеевич, Строителев Владислав Николаевич, Тимофеев Евгений Юрьевич, Редькин Борис Егорович, Прищепа Александр Николаевич, Солонецкий Юрий Григорьевич, Крошкин Алексей Николаевич, Чурилов Сергей Николаевич**

## **ПРИБОРНО-МОДУЛЬНЫЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

### **Справочник**

**Заведующий редакцией В. Н. Вяльцев  
Редактор Н. Я. Липкина  
Переплет художника Н. А. Пашуро  
Художественный редактор В. И. Мусиенко  
Технический редактор А. Н. Золотарева  
Корректор Т. В. Дземидович**

**ИБ № 2271**

ЛР № 010164 от 04.01.92

Сдано в набор 13.11.92 Подписано в печать 19.04.93 Формат 60×88/16 Бумага тип. № 2 Гарнитура Таймс Печать офсетная Усл.печ.л. 18,62 Усл.кр.-отт. 18,87 Уч.-изд.л. 24,45  
Тираж 2 600 экз. Изд. № 23190 Зак. № 4862 С-040

Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Набрано в Ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Министерства печати и информации Российской Федерации. 113054, Москва, Валовая, 28.

Отпечатано в производственно-издательском комбинате ВИНТИ. 140010, Люберцы, 10, Московской обл., Октябрьский пр., 403

„РАДИО И СВЯЗЬ”