

Конструирование микромодульной аппаратуры

Конструирование микромодульной аппаратуры



КОНСТРУИРОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Под редакцией

Н. А. БАРКАНОВА

**Н. А. БАРКАНОВ, О. В. БЫСТРОВ,
П. И. ЗАВАЛИШИН, В. Г. ЗАЙЦЕВ,
Е. С. КАЗЬМИН, Л. В. КОМАРОВА,
В. К. НЕВЕЖИН, А. Г. НИКИТИН,
С. И. САВЕЛЬЕВ, Л. Н. СПЕРАНСКАЯ,
Б. В. ТАРАБРИН, В. Н. ТАРИЛОВ**



«СОВЕТСКОЕ РАДИО» МОСКВА 1968

Коллектив авторов, под ред. Барканова Н. А.
«Конструирование микромодульной аппаратуры».
М., Изд-во «Советское радио», 1968, стр. 416, т. 21500,
ц. 1 р. 18 к.

Настоящая книга посвящена конструированию микромодульной аппаратуры и этажерочных микромодулей, собираемых из специальных деталей, имеющих одинаковую форму. В книге приводятся описание, технические параметры и конструкция отечественных микроэлементов, даются основные правила конструирования микромодулей и блоков микромодульной аппаратуры, приводятся примеры рекомендуемых конструкций. Описывается технология изготовления этажерочных микромодулей и микромодульных блоков. Рассматриваются факторы, определяющие надежность микромодулей, приводятся рекомендации по повышению надежности. Особенно подробно в книге описываются микромодули общего применения, причем приводятся не только принципиальные схемы и электрические параметры этих микромодулей, но и дается большое количество их характеристик, полученных в различных эксплуатационных условиях.

Книга может быть полезной для инженеров и техников, занимающихся проектированием, изготовлением и эксплуатацией радиоэлектронной аппаратуры с применением микромодулей, а также для студентов радиотехнических вузов.

Табл. 63, илл. 419, библи. 25 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

До последнего времени практически не было литературы, посвященной конструированию микромодулей и микромодульной аппаратуры. Изданные отдельные книги и брошюры о микромодулях лишь в общих чертах описывали их конструкцию, используя скудные зарубежные материалы по этому вопросу.

В настоящей книге обобщается отечественный опыт разработки и применения этажерочных микромодулей. В книге использованы также материалы лекций по микромодульному конструированию, которые читались с 1963 г. в Московском авиационном институте им. С. Орджоникидзе кандидатами технических наук Баркановым Н. А. и Захаровым К. Д.

Авторы книги приносят глубокую благодарность многочисленным коллективам рабочих, инженеров и техников, чей большой и плодотворный труд позволил создать отечественные микроэлементы, микромодули, микромодульную аппаратуру, в результате чего и появилась эта книга.

Особую благодарность авторы выражают инженерам В. И. Геворкян, А. Н. Иванову, В. А. Ицкову, Е. И. Николаеву, И. А. Патрикееву, В. С. Цымбалюк, Н. В. Чурилову и П. А. Якушкину за подготовку материалов по использованию микромодулей общего применения, а также кандидатам технических наук К. В. Епанешникову и К. Н. Шихаеву за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи книги.

ВВЕДЕНИЕ

Решение грандиозной задачи создания материально-технической базы коммунизма в нашей стране неразрывно связано с внедрением последних достижений науки и техники во все отрасли промышленности, с всемерным повышением темпов технического прогресса. Одной из немаловажных сторон этого процесса является широкое использование в народном хозяйстве последних достижений радиоэлектроники.

В последние годы радиоэлектроника переживает период особо бурного развития. Нет такой отрасли промышленности, где бы не применялись те или иные радиоэлектронные приборы, устройства или системы. Широкое применение радиоэлектроника нашла в быту. Сложнейшие задачи решаются с помощью военной радиоэлектронной аппаратуры.

Конструкторам современной аппаратуры приходится сталкиваться с большим числом вопросов, требующих обязательного разрешения для дальнейшего развития этой области техники. Большое внимание уделяется повышению надежности, уменьшению габаритных размеров и веса, механизации и автоматизации процессов изготовления. Из этих вопросов особое значение придается надежности.

Выделение надежности как проблемы номер один объясняется непрерывным усложнением аппаратуры, т. е. ростом количества элементов, из которых она состоит, причем темпы роста количества элементов превышают темпы роста надежности этих элементов. Если раньше радиоэлектронная аппаратура использовалась

в основном для связи и передачи информации, то в настоящее время к ней все в большей мере переходят функции контроля и управления, ранее выполняемые человеком. Это также приводит к повышению требований к точности и надежности работы аппаратуры.

Все большее усложнение задач, выполняемых радиоэлектронной аппаратурой, вполне естественно увеличивает ее объем и вес. С этим особенно часто встречаются конструкторы всякого рода летательных аппаратов, где каждый лишний килограмм веса аппаратуры ведет к необходимости брать на борт десятки, сотни и даже тысячи килограммов топлива в зависимости от дальности полета и типа летательного аппарата.

За последние годы благодаря развитию полупроводниковых приборов и печатного монтажа радиоэлектроника достигла известного прогресса в уменьшении размеров аппаратуры. Однако плотность заполнения деталями объема радиоэлектронной аппаратуры остается еще очень небольшой. Это объясняется несовершенством конструктивных форм многих деталей, нерациональным использованием их внутреннего объема, а также трудностью механизации сборки узлов из них.

Механизация и автоматизация процессов изготовления, повышающие надежность и снижающие стоимость аппаратуры и ее узлов, могут быть эффективно осуществлены не для любых конструкций. Для того чтобы радиоэлектронные блоки можно было создавать с помощью автоматов, блоки следует конструировать по определенным правилам, обеспечивающим «легкость» автоматизации производства. Так, для обеспечения большей возможности механизации и автоматизации узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры следует выполнять только на печатном монтаже. Создавая предпосылки для механизированной сборки узлов, печатный монтаж к тому же исключает случайные ошибки, возможные при объемном монтаже. За счет снижения трудоемкости монтажных работ печатный монтаж приводит к снижению стоимости аппаратуры.

Наиболее рациональной и простой формой узловой платы при печатном монтаже является плоская прямоугольная плата, которая при одностороннем открытом расположении навесных деталей дает возможность осуществления механизированной сборки узлов на автома-

тической линии и пайки их погружением в припой. В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются различные функциональные модули на полупроводниковых приборах в виде плоских конструкций. Однако плотность заполнения миниатюрных деталей в лучшем случае достигает только 1 детали/см³.

Дело в том, что габариты модулей на печатных платах определяются не только размерами используемых деталей, но и допустимыми минимальными расстояниями между ними. Анализ конструкций модулей, выпускаемых промышленностью, показывает, что детали занимают менее 40% площади печатной платы. Это объясняется тем, что вследствие малых габаритов миниатюрные детали не могут иметь очень жесткие и прочные выводы, с помощью которых осуществляется электрическое и механическое соединение с несущей печатной платой. Поэтому для предотвращения замыкания выводов различных элементов при работе в условиях больших вибраций и ударов детали размещают на печатной плате с относительно большими промежутками друг от друга. Такое размещение, кроме того, определяется различной формой обычных миниатюрных деталей, что также не позволяет оптимально использовать площадь несущей печатной платы.

Уплотнить монтаж модулей при использовании обычных деталей возможно только за счет использования деталей, близких по габаритам и форме, а также за счет резкого уменьшения промежутков между ними. Однако для сохранения необходимой механической и электрической прочности схемы приходится отказываться от привычной открытой конструкции модулей и переходить к модулям, в которых промежутки между деталями заполнены диэлектрическим связывающим веществом. Уплотненный монтаж миниатюрных деталей обычной формы с использованием полупроводниковых приборов позволяет получить плотность заполнения в модулях порядка 3—5 деталей/см³, т. е. позволяет более чем в 3—5 раз повысить плотность заполнения по отношению к открытым модулям. Надежность модулей с уплотненным монтажом на порядок выше надежности обычных открытых модулей (несмотря на то, что в этих конструкциях используются одни и те же детали), так как заливка деталей компаундом повышает их электрическую

и механическую прочность, а также улучшает распределение тепла внутри объема модуля.

Применение модулей с уплотненным монтажом хотя и позволяет повысить надежность работы аппаратуры, но не всегда позволяет получить требуемую высокую надежность. Существенное повышение надежности аппаратуры может быть достигнуто применением методов резервирования как отдельных деталей, так и узлов, блоков и целых устройств. Однако при этом габаритные размеры аппаратуры соответственно увеличиваются, что во многих случаях, особенно при конструировании малогабаритной аппаратуры, совершенно недопустимо. В этом случае задачу повышения надежности работы аппаратуры можно решать только путем резкого уменьшения размеров и веса узлов и блоков аппаратуры. Проблему уменьшения габаритных размеров и веса радиоэлектронной аппаратуры, повышения ее надежности решает микроминиатюризация.

Основными направлениями микроминиатюризации являются микромодули, пленочные схемы и полупроводниковые схемы. Широкое развитие в Советском Союзе получило микромодульное направление. Это объясняется наличием серийного производства микроэлементов и микромодулей, возможностью использования микромодулей для создания электронной аппаратуры, практически любых классов, простотой компоновки в составе аппаратуры микромодулей и обычных деталей.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-УЗЛОВОЙ МЕТОД КОНСТРУИРОВАНИЯ

1.1. ПРЕИМУЩЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНО-УЗЛОВОГО МЕТОДА

Механизация и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры позволяют повысить качество и надежность аппаратуры, резко сократить сроки организации производства аппаратуры, уменьшить время изготовления, снизить ее стоимость.

Внедрение в производство печатного монтажа, автоматической установки деталей на печатных платах и пайки погружением плат в припой позволяет автоматизировать некоторые трудные операции по изготовлению радиоэлектронной аппаратуры — операции сборки и монтажа электронных узлов. Однако действительно широкое внедрение механизации и автоматизации в производство радио- и электронной аппаратуры невозможно без предварительной широкой унификации отдельных узлов и деталей, а также наиболее целесообразного конструктивного их оформления.

Конструкция радиоэлектронных узлов должна быть простой — чем проще узел, тем проще автоматизировать его производство и тем выше качество узла. Унификации должны подвергаться не только механические узлы и несущие конструкции, но и электронные схемы аппаратуры, которые также должны быть оформлены в виде отдельных конструктивно законченных узлов.

Поэтому первым наиболее простым и реальным способом повышения надежности работы радиоэлектронной аппаратуры при одновременном создании возможности ее высокомеханизированного изготовления является разделение сложных блоков на простейшие части — узлы и тщательная отработка каждого узла. Такой метод конструирования аппаратуры называется функционально-узловым методом.

Как бы ни была сложна схема, какие бы сложные функций она ни выполняла, ее всегда можно разбить на элементарные функциональные схемы, выполняющие простейшие задачи. Анализ большого числа блоков различных классов радиоэлектронной аппаратуры показал, что функциональные узлы составляют 70—80% от общего количества узлов, входящих в блоки. Остальные 20—30% приходятся на различного рода вспомогательные элементы (развязывающие фильтры, переходные и блокирующие емкости, трансформаторы накала и т. п.). Причем для многих классов аппаратуры, например ЦВМ, свяной, метеорологической, навигационной и т. п., существует значительное количество общих простейших схем, которые могут применяться в различных блоках аппаратуры данного класса. Таким образом, существует возможность создания унифицированных простейших схем, которые могут быть применены в качестве первичных элементов общей схемы. Очевидно, в этом случае процесс разбивки общей схемы на узлы является обратимым, т. е. возможно создание сложных схем из простейших унифицированных функциональных узлов.

Таким образом, применение функционально-узлового метода конструирования основано на создании элементарных узлов — модулей, которые могут являться первичными элементами большого числа электронных схем. Этот метод позволяет принципиально изменить подход к разработке, конструированию и изготовлению радиоэлектронной аппаратуры. Создание элементарных функциональных унифицированных модулей позволяет широко поставить работы по их миниатюризации.

Применение функционально-узлового метода конструирования электронных блоков дает ряд преимуществ, которые положительно сказываются не только при освоении в промышленности и при эксплуатации электронных устройств, но и при проектировании и разработке новой аппаратуры и особенно при организации быстрого массового ее выпуска. При проектировании электронной аппаратуры разработчик всегда должен сначала проверить соответствие расчетных параметров на макете параметрам, полученным при согласовании отдельных узлов аппаратуры, а для этого требуется собрать и отрегулировать каждый узел, как бы он прост ни был и как бы разработчик ни был в нем уверен.

Наличие электронных функциональных узлов, выполненных в виде законченных конструкций с известными гарантированными параметрами, значительно уменьшает время, необходимое для сборки и проверки макета проектируемого устройства, а также упрощает сам процесс макетирования. Макет, выполненный из тех же модулей, что и опытный образец, очень близок к будущему опытному образцу и поэтому весь опыт подготовки макета в лаборатории может быть использован производством. В ряде случаев может быть разработан непосредственно опытный образец без лабораторного макетирования. Таким образом, в зависимости от характера и сложности разрабатываемой аппаратуры, как показывает опыт, период лабораторной разработки блоков аппаратуры сокращается в 1,5—3 раза, а в области ЭВМ и блоков цифровой автоматики — в 3—5 раз. Функциональные узлы позволяют избежать применения не отработанных должным образом схем и, следовательно, с самого начала разработки определяют высокую надежность разрабатываемых устройств.

Ускоряется при проектировании и процесс выпуска технической документации (принципиальных схем, спецификаций, общих видов и т. д.), так как в этом случае основной ее объем составляет техдокументация на функциональные узлы, которая не требует перевыпуска, поскольку достаточно сослаться на соответствующие чертежи модулей. Изображение принципиальных схем и общих видов функциональных узлов может производиться специальными штампами или трафаретами, что также ускоряет выпуск конструкторской документации.

Применение модулей позволяет создать типовые конструкции функциональных узлов, блоков, шкафов, в связи с чем сокращается объем конструкторских работ, снижается необходимая квалификация конструкторов. Поскольку новые функциональные модули и блоки отличаются в основном монтажными схемами, то разработка их в конструкторском отделе может вестись параллельно, что значительно ускоряет процесс конструирования.

Резко уменьшается количество вновь разрабатываемых (оригинальных) конструкций и объем вновь разрабатываемой технической документации. Как показывает опыт, при использовании функционально-узловой метода конструирования аппаратуры в различных кон-

конструкторских бюро сроки конструирования уменьшаются от 1,5 до 3 раз.

Изготовление блоков аппаратуры в производстве также значительно ускоряется, так как монтаж блоков в основном сводится к сборке готовых модулей, заранее собранных и настроенных по техническим условиям на них. Квалификация рабочих может быть ниже на 2—3 разряда квалификации рабочих, монтирующих тот же блок обычным способом. Ускорение в проектировании и производстве кроме сокращения сроков дает экономию в рабочей силе, так как уменьшается число конструкторов и производственных рабочих, занятых при изготовлении данной аппаратуры. Применение унифицированных функциональных узлов позволяет, как уже указывалось, применять унифицированные конструкции блоков, что дает возможность упростить и механизировать производство блоков в целом.

Улучшаются и эксплуатационные характеристики аппаратуры — полная идентичность функциональных модулей одного типа позволяет производить их замену без каких-либо дополнительных подстроек или регулировок, ускоряется процесс отыскания неисправностей в блоках. Повышается надежность работы блоков ввиду того, что тщательная отработка отдельных модулей повышает их надежность.

Применение модулей упрощает модернизацию узлов и блоков. Совершенствование модулей может осуществляться непрерывно — оно не затрагивает ни производства, ни эксплуатации уже изготовленной аппаратуры, так как модули взаимозаменяемы.

Приведенные преимущества, получаемые при использовании функционально-узлового метода конструирования, дают в целом большую экономию во времени и стоимости разработки любой аппаратуры.

1.2. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ (МОДУЛЕЙ)

Приступая к разработке новых модулей, нужно иметь в виду, что они не могут быть абсолютно универсальными, поэтому в ряде случаев их применение невозможно. Прежде чем приступать к созданию модулей, нужно знать, для какого типа аппаратуры они предназначены.

ся. В зависимости от типа аппаратуры (наземная, морская, самолетная, бытового применения или специального назначения) будут различными требования, предъявляемые к модулям; в каждом случае подход к разработке их должен быть различным. Необходимо, хотя бы ориентировочно, знать, в каких количествах будет выпускаться аппаратура, в которой собираются применять разрабатываемые модули. Ясно, что нет смысла заниматься созданием новых модулей только для аппаратуры, выпуск которой предполагается в небольших количествах. Таким образом, тип и предполагаемый объем производства аппаратуры учитываются с самого начала разработки модулей.

Следующим этапом при разработке модулей является составление перечня типовых узлов, применяемых в данной аппаратуре. При этом достаточно рассмотреть наиболее часто применяемые узлы, что обычно составляет 40—80% всех узлов. При составлении перечня узлов необходимо выявить, как часто применяются те или иные узлы. На основании этого составляется список модулей, которые целесообразно будет разработать в дальнейшем. Рассматривая различные схемы, увидим, что узлы одинакового назначения даже в пределах одного блока могут иметь несколько схемных выполнений. В большинстве случаев это разнообразие схемных вариантов технически не оправдано, и задачей разработчика модулей является найти наиболее оптимальный вариант данного узла (один или несколько). Это делается на основании опыта как отечественных, так и зарубежных разработок, а также на основании теоретических расчетов. Ясно, что целесообразно для модулей брать схемы, неоднократно проверенные на практике, наиболее часто встречающиеся в аппаратуре рассматриваемого типа. В заключение делаются выводы о количестве и вариантах схем, подлежащих изготовлению в виде модулей.

Следующим этапом работы является изучение всех требований, предъявляемых к разрабатываемым схемам. На основании полученных данных по каждой схеме составляются технические задания на модули. При этом может оказаться, что один вариант схемы не может удовлетворять всем требованиям технического задания или же схема узла получается очень сложной с большим количеством сменных элементов. В таком случае целе-

сообразнее сделать несколько вариантов данной схемы, так как чрезмерная универсальность схемы может привести к усложнению модуля. Однако увлекаться большим количеством вариантов одного и того же модуля также не следует, поэтому в каждом конкретном случае нужен разумный компромисс. При разработке требований к модулям следует помнить, что модули должны иметь обязательно нормированные общие параметры (амплитуды сигналов, величины питающих напряжений, входные и выходные сопротивления и т. д.), допускать автономную настройку, легко сопрягаться с другими модулями. После составления технических заданий их желательно вынести на обсуждение всех разработчиков аппаратуры. С учетом внесенных дополнений, поправок и замечаний составляются уточненные технические задания на разработку модулей.

Следующий этап разработки — отработка схем модулей на лабораторных макетах. При этом выявляются окончательный вариант схемы, могут быть внесены необходимые дополнения и изменения в технические задания. После проведения необходимых расчетов схемы подвергаются тщательной отработке для обеспечения высокой надежности работы. Для этого целесообразно проводить кроме обычных исследований граничные испытания схем для выявления зон устойчивой работы при изменении окружающей температуры, напряжений источников питания, допусков на элементы.

После выпуска технической документации изготавливается опытная партия модулей и проводятся их испытания на заданные механические и климатические воздействия. Весьма желательным является также испытание модулей на надежность работы и длительность ресурса (срок службы). Заканчивается разработка модулей корректировкой технической документации.

1.3. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЕЙ

Конструктивное выполнение модулей зависит от номенклатуры применяемых в аппаратуре схем, типов используемых радиодеталей, размещения деталей и геометрической формы модуля, типа электрического и механического соединения модулей с печатной платой, условий эксплуатации аппаратуры. В большинстве слу-

чаев при проектировании новых блоков электронной аппаратуры оказывается экономически и технически целесообразным использовать в максимальной степени выпускаемые промышленностью типовые (унифицированные) модули. В этом случае конструкция вновь разрабатываемых типов модулей естественно должна в точности соответствовать промышленным модулям. Однако в отдельных случаях, которые должны быть исключением, по некоторым причинам бывает необходимо разработать серию модулей оригинальной конструкции. В этом случае следует учитывать следующие факторы.

Наиболее удобной геометрической формой модулей является параллелепипед, так как именно параллелепипеды наиболее плотно могут заполнить объем в блоке и, следовательно, обеспечить получение наименьших габаритов аппаратуры. Оптимальным является случай, когда все типы модулей изготавливаются в виде одинаковых параллелепипедов. Однако для лучшего использования объема блока иногда допустимо применение нескольких размеров модулей (три, пять или даже более). В этом случае два размера модуля должны оставаться постоянными, а третий должен меняться в отношении $1:2:3:4 \dots$ и т. д., т. е. быть кратным наименьшему размеру. С точки зрения лучшей компоновки модулей с «высокими» деталями (реле, кварцы, контуры и т. п.) выводы модулей должны лежать в плоскости наибольшего поперечного сечения, т. е. модули должны «стоять» на печатной плате, а не «лежать». Для облегчения коммутации на печатных платах выводы модулей должны располагаться вдоль большей его стороны.

Вес конструкции модуля складывается из веса деталей и механической конструкции, печатной платы, разъема, кожуха (капсулы), элементов крепления деталей и модуля, заливочного компаунда. Вес радиодеталей составляет 50—80% от веса всего модуля (без учета веса заливочного компаунда), поэтому уменьшение веса модулей во многом зависит от схемных решений, выбора наивыгоднейших типов радиодеталей (отсюда стремление использовать самые миниатюрные радиодетали), а также от рациональности используемой механической конструкции.

По мере применения в модулях все более миниатюрных деталей относительный вес механической конструк-

ции все возрастает, а абсолютный вес модулей снижается. Отсюда следует, что для уменьшения веса модулей большое внимание должно уделяться также и снижению веса механической конструкции, который зависит от типа конструкции, материалов кожуха, платы и заливочного компаунда, а также от габаритов модуля. При рациональном методе конструирования, как уже указывалось, для всех модулей данной аппаратуры устанавливается стандартное сечение и один изменяющийся размер. Это позволяет конструктору, используя наивыгоднейшую компоновку деталей в модуле, получить меньший его объем, а следовательно, и меньший вес механической конструкции. Вес механической конструкции также уменьшается за счет применения кожухов коробчатого типа, выполняемых из тонкого листового алюминиевого сплава и имеющих большую жесткость при малом весе, максимального сокращения количества промежуточных креплений деталей к печатной плате, сокращения общего количества крепежных элементов, широкого применения неметаллических материалов большой жесткости и с малым удельным весом (АГ-4, ПУ-3 и др.).

В некоторых случаях допустимо отказаться от сплошной заливки модулей компаундами, а также от металлических кожухов. Тогда для повышения влагостойкости и механической прочности модулей детали и печатные платы покрывают лаками типа СБ, Э4100 и др.

Главными технологическими требованиями, предъявляемыми к конструкции модулей являются:

- использование наименьшего количества типоразмеров модулей;
- широкое использование штампованных кожухов;
- расположение деталей на печатной плате с одной стороны так, чтобы обеспечить удобную автоматическую установку радиодеталей и одновременную пайку погружением;
- широкое применение одностипных повторяющихся плат, контактов, разъемов элементов крепления и др.;
- максимальное сокращение номенклатуры используемых в модулях деталей, крепежа и материалов, применяемых в механической конструкции модуля.

НАПРАВЛЕНИЯ МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИИ

Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры стала широко проводиться сравнительно недавно. Пути развития, представляющие все основные направления микроминиатюризации, наметились в 1958—1959 гг.

Самым простым и доступным направлением миниатюризации является уплотненный монтаж дискретных элементов. Миниатюрные схемы и узлы выполняются либо уплотненной модульной сборкой элементов обычной формы (причем в модуль могут собираться элементы различной формы), либо сборкой элементов специальной формы и размеров, изготавливаемых для данного типа конструкции модуля. Примером уплотненной конструкции дискретных миниатюрных элементов случайной формы могут служить «колончатые модули» (в США они известны под названием cordwood — «поленница»). Радиодетали в этих модулях монтируются параллельно друг другу между двумя печатными платами. После того как соединения выводов деталей стали выполняться сваркой, эти модули получили название «сварные колончатые» или просто «сварные модули». К той же группе относятся «плоские микромодули», в которых миниатюрные детали монтируются на печатной плате.

К конструкциям, состоящим из дискретных элементов специальной формы стандартных размеров, относятся модули «этажерочной» конструкции (известны в литературе как «микромодули») и «таблеточные модули».

«Этажерочные микромодули» состоят из набора дискретных плоских элементов специальной одинаковой формы, набранных в столбик и соединенных по граням

столбика с помощью соединительных проводников или печатных плат. «Таблеточные модули» собираются из элементов, равных по высоте или по диаметру и вставляемых в отверстия диэлектрического основания. Эти модули в США в зависимости от фирм-изготовителей называют еще и «сотовыми», и конструкцией «швейцарский сыр».

Все эти конструкции дают соизмеримую степень миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры. Некоторые авторы относят уплотненный монтаж дискретных элементов и микромодули к различным направлениям микроминиатюризации. По существу, это одно направление — уплотненный монтаж, позволяющий создавать миниатюрные модули (микромодули).

Второе направление микроминиатюризации представляют конструкции, состоящие из напыленных на изолирующую подложку пассивных элементов (резисторов и конденсаторов) и прикрепленных к подложке дискретных активных элементов (диодов и транзисторов). Эти конструкции различными фирмами и разработчиками называются «микросхемами», «тонкопленочными микросхемами», «тонкопленочными схемами», «плоскими схемами», «двухмерными схемами», «твердыми керамическими схемами». Наибольшее распространение в отечественной и зарубежной литературе получили первые три наименования.

Третье направление микроминиатюризации представляют схемы, выполненные в кусочке монокристаллического полупроводникового материала с использованием явлений в твердом теле. Ставшая классической полупроводниковая схема триггера была названа в 1959 г. американской фирмой Texas Instruments твердой схемой. Этот термин был зарегистрирован как марка фирмы Texas Instruments и применяется в каталогах фирмы до настоящего времени. Другие разработчики применяли для подобных схем кроме упомянутого термины: «схема на твердом теле», «объемная схема», «трехмерная схема», «полупроводниковая твердая схема», «полупроводниковая схема», «полупроводниковая интегральная схема».

В 1960 г. появились полупроводниковые функциональные устройства, в которых нельзя выделить отдельные области, эквивалентные дискретным радиоэlemen-

там; структуру устройства нельзя разделить на области, выполняющие отдельные функции. Устройство же в целом по выполняемым им функциям, входным и выходным сигналам эквивалентно схеме на дискретных элементах. Такие устройства были названы «функциональными устройствами», «молектронными устройствами», «функциональными твердыми схемами». Функциональные устройства могут быть реализованы не только на полупроводниковых, но и на других материалах, например ферритах.

Американская фирма Westinshouse, разработавшая в 1960 г. несколько простых полупроводниковых функциональных устройств, продолжала к разработанным ей в последующие годы полупроводниковым интегральным схемам (схемы с эквивалентами дискретных элементов) применять термин «молектронные функциональные устройства» и часто, если не было подробных описаний, неясно было, о каких структурах идет речь.

С 1962 г. стали более активно проводиться работы по получению тонкопленочных активных элементов (диодов, транзисторов). Были изготовлены лабораторные образцы полностью тонкопленочных схем без навесных активных элементов. По аналогии с интегральными полупроводниковыми схемами, элементы которых неразрывно связаны с подложкой, тонкопленочные схемы без навесных элементов были названы «интегральными тонкопленочными схемами». Технологические способы обработки полупроводников и получения тонких пленок достигли достаточно высокого уровня, и были выявлены возможности комбинаций этих способов. Так появились полупроводниковые схемы с напыленными тонкопленочными элементами. Такие схемы были названы «гибридными», но если под гибридизацией понимать совместное применение различных технологических способов микроэлектроники, то тонкопленочные схемы с навесными активными элементами также будут гибридными и гибридными будут полупроводниковые интегральные схемы, выполненные на нескольких подложках (многокристалльные или многоосколковые) и объединенные на общем основании в одном корпусе, и схемы, представляющие любую другую возможную комбинацию.

Поскольку интегральные тонкопленочные схемы пока еще не вышли за пределы лабораторий, то чаще всего

в литературе речь идет о гибридных тонкопленочных схемах и их называют просто «тонкопленочными схемами». Термин «микросхема», несправедливо присвоенный вначале только тонкопленочным схемам, начиная с 1962—1963 гг. распространяется в литературе также и на полупроводниковые схемы и применяется чаще всего, когда говорится вообще о микроэлектронных схемах различных видов. Например, фраза «Аппаратура, выполненная с применением микросхем» в современной литературе означает, что применены либо интегральные полупроводниковые, либо тонкопленочные, либо гибридные схемы, либо эти схемы в любой комбинации.

Термин «твердая схема» также почти исчез из литературы. Начиная с 1963 г. в литературу прочно входит термин «полупроводниковая интегральная схема». Термин «микросхема» применительно к тонкопленочным схемам и термин «твердая схема» используется в настоящее время за рубежом лишь как фирменные марки.

В течение трех последних лет делались различные попытки систематизировать терминологию в области микроминиатюризации и дать рекомендации по ее стандартизации. Наиболее стройная классификация направлений микроэлектроники и точная терминология представлены в «Рекомендациях по терминологии в микроэлектронике» (общества электронной промышленности США), опубликованных в декабре 1962 г.

Для наименьшего изменения существующей в литературе терминологии, а также для связи отечественных терминов с зарубежными представляется целесообразным принять следующую терминологию наиболее распространенных направлений микроминиатюризации, базирующуюся на рекомендациях «Общества электронной промышленности США».

II.1. ТЕРМИНОЛОГИЯ

Микроминиатюризация — направление (область) радиоэлектроники, связанное с реализацией электронных схем, блоков и аппаратуры в целом из миниатюрных и микроминиатюрных радиоэлементов и узлов.

Уплотненный монтаж — метод создания радиоэлектронных узлов (модулей) из отдельных (дискретных) деталей, заключающийся в плотной компоновке миниа-

турных деталей обычной или специальной формы с последующей общей герметизацией.

Микроэлектроника — направление электроники, связанное с реализацией электронных схем, блоков и аппаратуры в целом из миниатюрных и микроминиатюрных радиоэлементов, которые не могут быть использованы самостоятельно вне конструкции модуля или блока. Микроэлектроника является частью микроминиатюризации и охватывает интегральные микросхемы и функциональные устройства, которые все вместе можно называть как микроэлектронные конструкции.

Уплотненный монтаж

«Уплотненный монтаж дискретных элементов» или просто «уплотненный монтаж» позволяет создавать модули с повышенной плотностью элементов. При использовании элементов обычной формы повышенная плотность монтажа создается за счет рациональной конструкции (модули), а также за счет использования деталей-полуфабрикатов без обычных корпусов и выводов с последующей их герметизацией в общем корпусе — капсуле (микромодули). При этом плотность монтажа определяется главным образом размерами деталей. (Отсюда стремление конструкторов использовать самые миниатюрные детали, выпускаемые промышленностью.) Механизация изготовления таких модулей относительно затруднена и определяется формой деталей и методами соединений.

Создание деталей специальной формы, одинаковой (подобной) для всех деталей и удобной для механизации сборки их в модуль, позволяет создавать модули с более высокой плотностью монтажа и степенью механизации изготовления. Таким образом, предлагается следующая терминология.

Колончатые модули, в которых обычные детали устанавливают плотно параллельно друг другу и соединяют с помощью печатного монтажа или сварки с последующей общей герметизацией (рис. II.1). При использовании сварки модули называют сварными модулями (рис. II.2).

Плоские микромодули — модули, выполненные из деталей, установленных на одной или двух сторонах пе-

чатной платы. Выводы деталей соединяют с печатным монтажом с помощью токопроводящих клеев или пайки обычными припоями. Сборку из печатной платы и деталей затем герметизируют (рис. II.3).

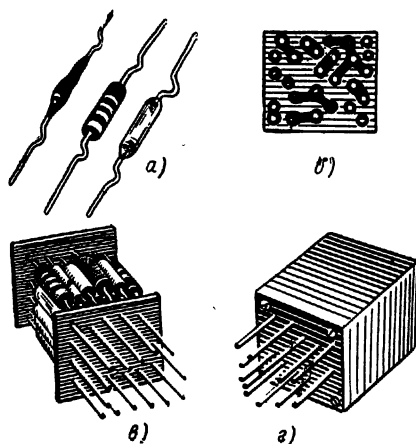


Рис. II.1. Колончатый модуль:

a — детали модуля; *б* — печатная плата; *в* — собранный модуль до герметизации; *г* — герметизированный модуль.

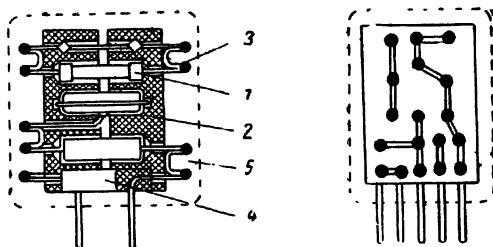


Рис. II.2. Сварной модуль:

1 — резистор; *2* — сборочная кассета; *3* — место сварки; *4* — конденсатор; *5* — герметизирующий компаунд.

Этажерочные микромодули * — модули, выполненные из деталей специальной формы, собранных в столбик и

* Так как в книге рассматриваются в основном этажерочные микромодули, то в тексте будет использоваться вместо термина «этажерочный микромодуль» термин «микромодуль».

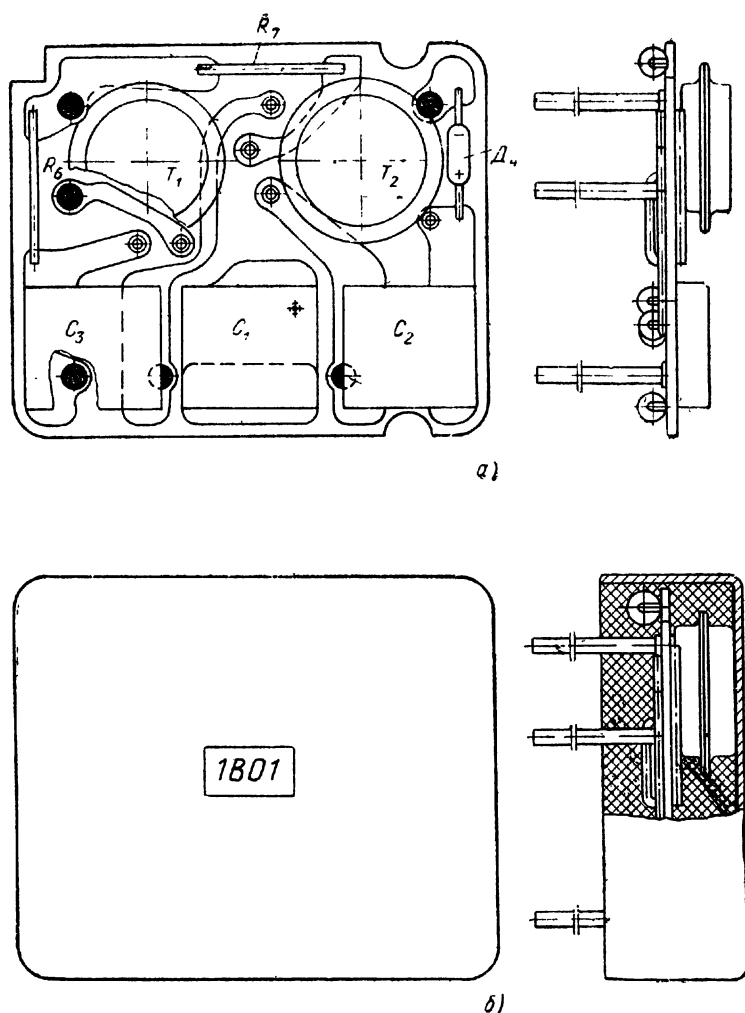


Рис. II.3. Плоские микромодули:
 а — плата с деталями; б — герметизированный микромодуль.

соединенных друг с другом с помощью пайки или сварки вертикальными соединительными проводниками («этажерка») с последующей герметизацией (рис. II.4).

Таблеточные микромодули — модули, выполненные из деталей специальной формы, установленных в отвер-

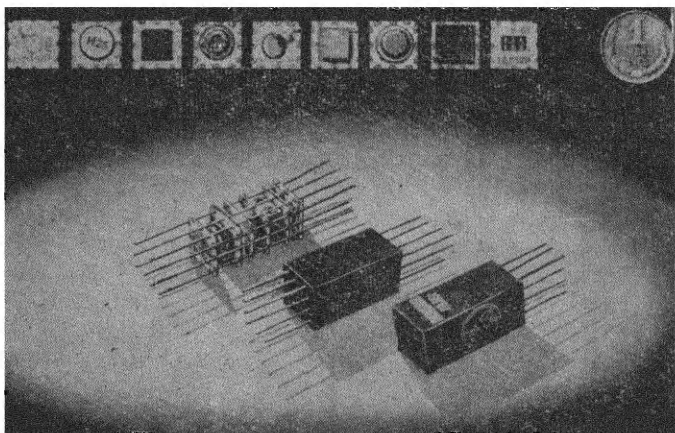


Рис. II.4. Микроэлементы и этажерочный микромодуль (до и после герметизации).

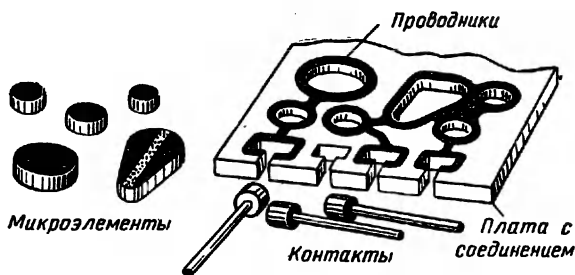


Рис. II.5. Элементы таблеточного микромодуля.

ствиях печатной платы и соединенных с помощью печатного монтажа с последующей их герметизацией (рис. II.5).

Интегральные микросхемы

В интегральных микросхемах комплект отдельных конструктивно законченных деталей, входящих в данную схему, заменяют группой («суммой», «интегралом») элементов, выполненных неотъемлемо на поверхности или в объеме материала основания (подложки). Это резко увеличивает плотность монтажа и позволяет значитель-

но упростить конструкцию радиоэлектронного узла, что, в свою очередь, создает потенциальную возможность более высокой механизации и автоматизации изготовления таких узлов.

Интегральные микросхемы можно изготавливать с помощью пленочной, полупроводниковой технологии или технологии керамического производства. Однако возможны интегральные микросхемы, при изготовлении ко-

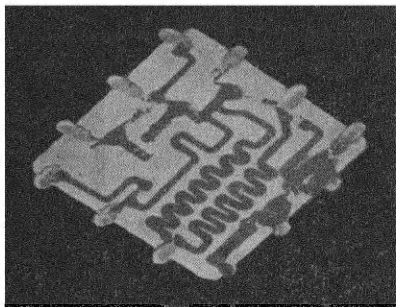


Рис. II.6. Гибридная пленочная микросхема.

торых используют как те, так и другие технологические процессы. В этом случае получают гибридные интегральные микросхемы.

Таким образом, предлагается следующая терминология.

Интегральные микросхемы или просто «микросхемы» — микроэлектронные модули, созданные выполнением группы элементов методами пленочной,

полупроводниковой или какой-либо другой технологии на поверхности или в объеме твердых оснований (изолирующих, полупроводниковых, керамических и т. д.).

Интегральные пленочные микросхемы или просто пленочные микросхемы — микросхемы, в которых все входящие в схему элементы и соединения между ними выполнены методами пленочной технологии на общем твердом диэлектрическом основании*.

Гибридные пленочные микросхемы — микросхемы, в которых наряду с пленочными элементами используются отдельные заранее изготовленные микроминиатюрные детали (как правило, полупроводниковые приборы) в дискретном виде (рис. II.6).

Интегральные полупроводниковые микросхемы или просто полупроводниковые микросхемы — в которых все входящие в схему элементы выполнены методами полу-

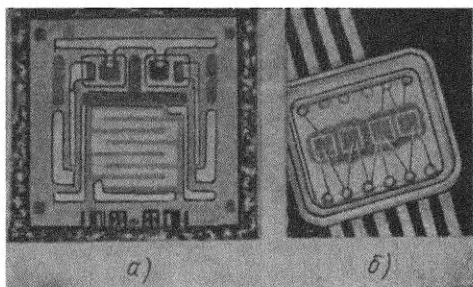
* Диэлектрическое основание может быть создано путем пассивации или покрытия диэлектрическими пленками металлических пластин.

проводниковой технологии на поверхности или в объеме полупроводника.

Если все радиоэлементы схем выполнены в объеме одной полупроводниковой пластины, то схема называется монолитной полупроводниковой микросхемой. Если схема состоит из нескольких полупроводниковых пластин, то она называется многокристальной полупроводниковой микросхемой (рис. II.7).

Рис. II.7. Полупроводниковая микросхема:

а — кристалл с элементами и монтажом; *б* — четыре кристалла в плоском корпусе.



Гибридные полупроводниковые микросхемы — микросхемы, в которых большая часть входящих в схему элементов выполнена методами полупроводниковой технологии на поверхности или в объеме полупроводниковой пластины, а часть элементов (обычно резисторы, конденсаторы) выполнена на поверхности полупроводника методами пленочной технологии.

Интегральные керамические микросхемы или просто керамические микросхемы — микросхемы, в которых все входящие в схему элементы выполнены методами технологии керамического производства на поверхности или в объеме керамической пластины.

Гибридные керамические микросхемы — микросхемы, в которых большая часть входящих в схему элементов выполнена методами керамического производства на поверхности или в объеме керамической пластины, а часть элементов установлена или выполнена на поверхности пластины другими технологическими методами.

Функциональные устройства

В структуре функциональных устройств трудно выделить элементы или области, выполняющие отдельные электрические функции. Поэтому под функциональным

устройством предлагается понимать микроэлектронные устройства, выполненные в объеме полупроводникового (или другого) материала, кристаллическая решетка ко-

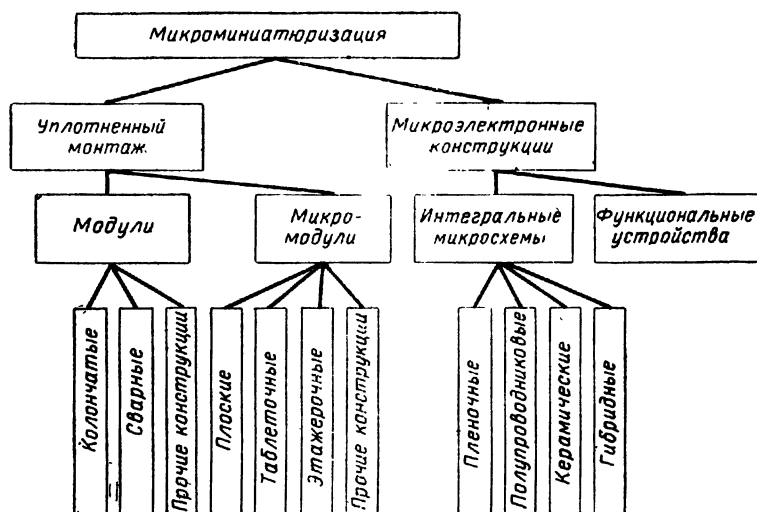


Рис. II.8. Классификация направлений микроминиатюризации.

торого обработана таким образом, что материал выполняет функции определенной электронной схемы.

На рис. II.8 приведена классификация направлений микроминиатюризации в соответствии с вышеприведенной терминологией.

II.2. СРАВНЕНИЕ МИКРОМИНИАТЮРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Микроминиатюризация основывается на использовании функционально-узлового метода, новых конструктивных форм и технологических приемов изготовления узлов радиоэлектронной аппаратуры, которые позволяют наиболее рационально заполнить радиоэлементами объем аппаратуры и максимально автоматизировать изготовление деталей и узлов. Наиболее распространенными в настоящее время микроминиатюрными конструкциями являются микромодули и интегральные микро-

схемы, преимущества и недостатки которых целесообразно сравнить.

Микромодули — это модули, собираемые из отдельных радиодеталей-полуфабрикатов (микроэлементов) с последующей их герметизацией. Одинаковая и простая форма микроэлементов для этажерочных микромодулей позволяет сравнительно легко обеспечить автоматизированное изготовление как самих микроэлементов, так и сборку из них микромодулей. Плотность заполнения объема микромодулей может быть достигнута на порядок выше, чем при обычных методах конструирования узлов электронной аппаратуры. Применение микроэлементов дает плотность заполнения порядка 5—10 деталей/ см^3 ; использование полимикроэлементов в этажерочных микромодулях (несколько элементов на одной плате) позволяет получить плотность заполнения в 10—20 деталей/ см^3 микромодуля.

Технология изготовления микроэлементов и микромодулей не требует принципиально новых технологических решений и реализуется на существующем уровне развития производства. Для разработки и изготовления микроэлементов и микромодулей может быть использована существующая кооперация в электронной промышленности. Отдельные специализированные организации и заводы используются по своему профилю (микрорезисторы разрабатывают и изготавливают организации и заводы, специализирующиеся на разработке и изготовлении обычных резисторов, микротранзисторы разрабатывают и изготавливают полупроводниковые институты и заводы полупроводниковых приборов и т. д.).

Конструкция микромодуля обладает высокой механической прочностью. Хорошая защита микроэлементов от воздействий внешней среды обеспечивает высокую надежность работы микромодулей.

Этажерочные микромодули, имея объемную конструкцию, хорошо komponуются в узлы в сочетании с такими элементами, как подстроечные резисторы, контуры, реле, трансформаторы. Для электрического и механического соединения микромодулей как друг с другом, так и с обычными элементами достаточно использовать обычные методы печатного монтажа.

Допуская рассеивание в своем объеме относительно больших (для микроминиатюрных конструкций) мощ-

ностей при допустимых перегревах, микромодули позволяют использовать существующие проверенные опытом схемные решения, что облегчает переход от обычных электронных узлов и блоков к микромодульным. Микромодульная конструкция, состоящая из отдельных радиодеталей, позволяет на стадии отработки схемы проводить макетирование и доработку схемы и конструкции в лабораторных условиях.

Недостатком микромодулей по отношению к интегральным микросхемам является меньшая плотность заполнения объема модуля деталями и значительно большее количество переходных контактов внутри микромодуля.

Пленочные интегральные микросхемы выполняются как плоская мозаика из тонких пленок различных материалов (проводящих, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных и т. д.), нанесенных на диэлектрическое основание. Отказ от отдельных радиодеталей и использование тонких пленок позволяют получить плотности заполнения порядка $50 \div 100$ деталей/ $см^2$. Однако трудность компоновки пленочных микросхем с объемными радиодеталями типа реле, кварцев, трансформаторов и т. п. и необходимость в печатном монтаже повышенной плотности для соединения схем друг с другом усложняют процесс конструирования и изготовления радиоэлектронной аппаратуры.

Полупроводниковые интегральные микросхемы стали реальностью благодаря современным достижениям науки в области физики твердого тела. Выполнение функциональных узлов на базе полупроводниковых микросхем должно обеспечить получение плотности заполнения объема радиоэлектронной аппаратуры, эквивалентное $500—1\,000$ деталям/ $см^2$ узла.

В полупроводниковых микросхемах отсутствует проблема объединения отдельных деталей. Благодаря использованию однородного обладающего высокой чистотой материала количество контактов между разнородными материалами существенно сокращается и основные электрические соединения приходятся на входные контакты схемы, а также на выводы для подключения источников питания. Очень маленькие размеры схем обеспечивают им большую механическую прочность.

Недостатками полупроводниковых микросхем явля-

ются трудность получения элементов схемы с жесткими допусками, большая температурная зависимость характеристик и ограниченность номинальных величин и типов элементов схем, необходимость перестройки кооперации, сложившейся в электронной промышленности, потребность в дорогом и сложном технологическом оборудовании.

КОНСТРУКЦИЯ МИКРОМОДУЛЕЙ

III.1. ТИПЫ МИКРОМОДУЛЕЙ

Большинство типов микромодулей, применяемых за рубежом, имеют «этажерочную» конструкцию, т. е. представляют собой «этажерку» из плоских радиодеталей постоянного поперечного сечения, соединенных по периметру друг с другом электрически и механически в единую конструкцию — модуль. Наибольшее распространение получили микромодули с квадратным поперечным сечением, обеспечивающие плотность заполнения в 10—20 деталей/ см^3 . Так, в США и Японии радиодетали для микромодулей располагаются на квадратных платах со стороной 7,6 мм, в ЧССР используется квадрат со стороной 10 мм. Микромодули с прямоугольным поперечным сечением (10×15 мм) выпускаются в ГДР. Шестигранное поперечное сечение имеют микромодули, предложенные в ФРГ. Круглое поперечное сечение предлагалось для микромодулей в Советском Союзе А. Л. Харинским и Н. К. Ивановым-Есиповичем. «Этажерочные» микромодули получили широкое распространение.

Несколько похожа на этажерочную конструкция термоэлектронных микромодулей, выпускаемых в США фирмой «Дженерел Электрик» (рис. III.1). Элементы микромодулей, включая электронные диоды и триоды, изготавливаются в виде дисков или колец диаметром 8 мм из керамики, титана и углерода и собираются в цилиндрический столбик, который затем откачивают и спекают в монолитную конструкцию. В таких микромодулях нет цепей накала ламп — тепловая энергия для создания эмиссии электронов катода поставляется из окружающей среды, так как микромодули предназначены для работы при температуре окружающей среды поряд-

ка $500-550^{\circ}\text{C}$. Микро модули обладают высокой надёжностью, большой стойкостью к ядерному излучению. Плотность заполнения в термоэлектронных микро модулях находится в пределах от 15 до 30 деталей/ см^3 . Не

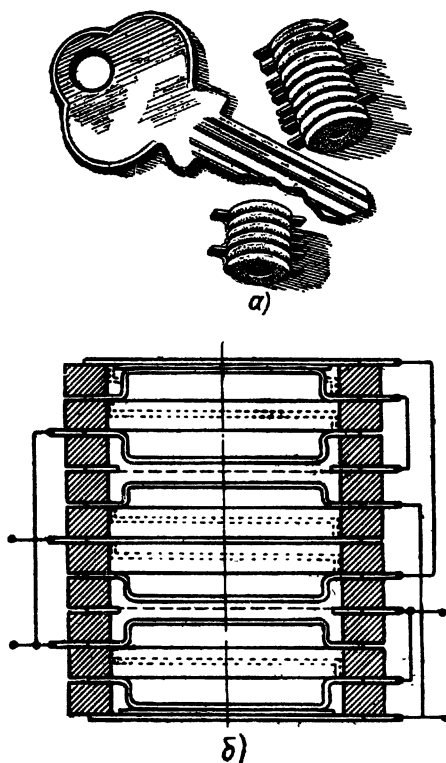


Рис. III.1. Термоэлектронные микро модули:
а — внешний вид; б — поперечный разрез.

достатком этих микро модулей является трудность получения в такой конструкции больших емкостей и индуктивностей, поэтому возможности таких схем ограничены.

К модулям из деталей, имеющих специальную форму, относятся таблеточные микро модули. В таблеточных микро модулях США применяются радиодетали преимущественно цилиндрической формы диаметром от 0,25 до

6,34 мм с высотой 0,76 и 1,52 мм. В Советском Союзе используются детали-таблетки диаметром от 0,2 до 5 мм с высотой от 2 до 3,5 мм. Детали-таблетки размещают в отверстиях печатной платы, укрепляют термореактивной смолой и соединяют с печатными проводниками пайкой или токопроводящим клеем. В виде таблеток вы-

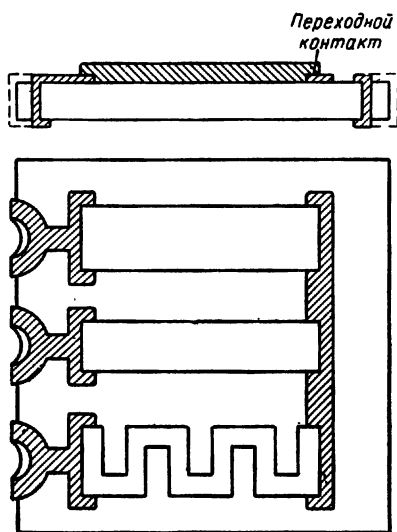


Рис. III.2. Полиэлемент из трех пленочных резисторов. Число переходных контактов на каждом выводе резистора равно 1.

полняются резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды, транзисторы, трансформаторы. Для аналоговых схем, в которых часто требуется подстройка элементов, таблеточные плоские конструкции микромодулей менее пригодны, чем объемные этажерочные микромодули, так как лишь немногие подстраиваемые элементы можно выполнить в виде таблеток. Наиболее трудно выполнимыми являются подстраиваемые катушки индуктивности и связанные контуры. Плотность заполнения в таблеточных микромодулях при осуществлении возможности автоматизированной сборки достигает 20 деталей/см³.

Использование в составе этажерочных микромодулей полиэлементов позволяет увеличить плотность заполнения микромодулей, повышет их надежность. При использовании микроэлементов с одной радиодеталью на микроплате достигается плотность заполнения 5—10 деталей/см³, полиэлементы повышают плотность заполнения до 10—20 деталей/см³. Однако основным преимуществом полиэлементных микромодулей является их более высокая надежность за счет уменьшения числа переходных контактов при соединении отдельных радиодеталей друг с другом в составе микромодуля. Правда, это от-

носятся только к радиодеталям, выполненным на микроплате методами пленочной технологии (рис. III.2). В случае использования в полиэлементных микромодулях дискретных радиодеталей (рис. III.3) число переходных контактов между радиодеталями, соединенными по схе-

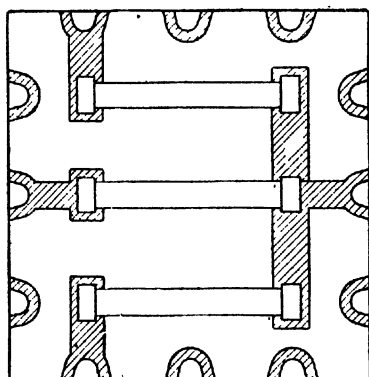
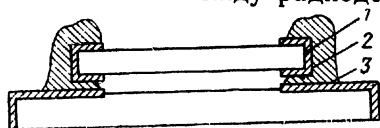


Рис. III.3. Полиэлемент из трех дискретных резисторов. Число переходных контактов на каждом выводе резистора равно 3:

1 — контакт между проводящей пленкой резистора и металлизированным кольцом; 2 — контакт между металлизированным кольцом и слоем токопроводящего клея; 3 — контакт между токопроводящим клеем и металлизированной перемычкой.

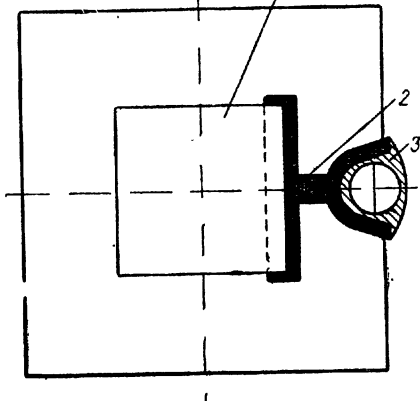
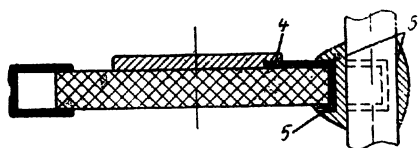


Рис. III.4. Пленочный резистор. Число переходных контактов на каждом выводе резистора равно 3:

1 — проводящая пленка резистора; 2 — металлизированный вывод; 3 — припой; 4 — контакт между проводящей пленкой резистора и металлизированным выводом; 5 — контакт между металлизированным выводом и слоем припоя; 6 — контакт между слоем припоя и медным соединительным проводником.

ме друг с другом, практически не уменьшается (по отношению к пленочным элементам в обычных микромодулях) (рис. III.4).

Оригинальная конструкция микромодуля была разработана П. О. Грибовским, предложившим все детали, входящие в микромодуль, изготавливать в виде кубиков со стороной 2 мм. После сборки плоского микромодуля

из таких кубиков все контактные поверхности деталей, покрытые предварительно тонким слоем припоя, предполагалось соединять путем прогрева микромодуля до температуры расплавления припоя. Отсутствие полупроводниковых приборов в виде таких кубиков, выдерживающих без повреждения температуру пайки, не позволило, однако, реализовать интересную конструкцию.

III.2. ПРЕИМУЩЕСТВА ЭТАЖЕРОЧНЫХ МИКРОМОДУЛЕЙ КАК СИСТЕМЫ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Как уже указывалось раньше, существует целый ряд факторов, затрудняющих или ограничивающих применение интегральных схем. Одни факторы являются временными и по мере совершенствования технологии изготовления интегральных схем будут играть все меньшую роль, другие, определяемые конструкцией и возможностями интегральных схем, будут оставаться постоянно. Так, при изготовлении интегральных схем пока еще не научились точно управлять допусками на отдельные параметры элементов, что создает известные трудности при проектировании надежно работающих интегральных схем. Используемые в настоящее время исходные материалы не позволяют создавать нечувствительные к температуре окружающей среды элементы интегральных схем, что ограничивает область применения этих схем или требует введения температурной компенсации и усложняет схемы и аппаратуру. Для изготовления интегральных схем требуется дорогое и громоздкое технологическое оборудование, не окупаемое при изготовлении небольших партий схем. Поэтому, несмотря на большие преимущества интегральных схем по плотности заполнения и надежности, этажерочные микромодули во многих случаях предпочтительны для построения миниатюрной радиоэлектронной аппаратуры.

Благодаря этажерочной конструкции в микромодуле совмещаются преимущества использования дискретных элементов и монолитных конструкций. К важнейшим преимуществам этажерочного микромодуля при использовании дискретных элементов можно отнести [10]:

— детали микромодулей (микроэлементы) выпускаются промышленностью как самостоятельные законченные изделия;

— микромодули имеют очень большие схемные возможности за счет широкой номенклатуры микроэлементов с требуемыми допусками на их параметры;

— возможность предварительного макетирования схем;

— возможность замены схем в процессе производства;

— относительно просто механизировать и автоматизировать процессы изготовления микромодулей.

Наличие широкой номенклатуры надежных микроэлементов является очень важным обстоятельством. Заводы, выпускающие микроэлементы, располагают механизированным или автоматическим оборудованием позволяющим осуществлять массовый выпуск качественных изделий. Большой спрос и строгие требования потребителей микромодулей создают стимул этим заводам для постоянного совершенствования технологии производства, обеспечивая тем самым наилучшие характеристики изделий на основе новейших достижений науки и техники.

Использование дискретных элементов позволяет эффективно реализовать самые разнообразные схемы, начиная со схем постоянного тока, промежуточной и видеочастот и кончая высокочастотными, в том числе линейными и цифровыми схемами. Такой диапазон схемных возможностей обеспечивает микромодулям широкое распространение.

Возможность макетирования при использовании дискретных элементов позволяет разработчику испытывать и изменять (если это необходимо) схему, используя при этом элементы, идентичные элементам законченного изделия. При переводе макетов в весьма компактные микроузлы возникают нежелательные явления: увеличиваются паразитные емкости, укорачиваются пути токов утечек, увеличиваются взаимные связи между микроэлементами и тепловое рассеяние на единицу поверхности. Эти проблемы являются общими для всех типов микроузлов. Для систем из дискретных элементов решение этих проблем (в общем случае) представляет наименьшую трудность. Относительная легкость измене-

ния схем в процессе их производства также свойственна системам из дискретных элементов. В обычных условиях требуется лишь замена одного дискретного элемента другим, отличающимся от первого номинальным значением какого-либо параметра. Такая гибкость при конструировании и производстве устройств является важным экономическим фактором, который иногда предопределяет выбор того или иного метода микроминиатюризации.

Механизация и автоматизация процесса изготовления микромодулей является одним из важнейших требований, предъявляемых ко всей микроминиатюризации. Можно считать вполне очевидным, что при массовом производстве, когда стремятся к единообразию и экономичности готового изделия, следует, как можно меньше, использовать ручной труд, при котором неизбежны трудно контролируемые ошибки. С этой точки зрения, бесспорно, предпочтение надо отдать устройствам, выполненным на дискретных элементах, отличающихся своей пригодностью для машинной обработки. Сборка микромодулей, состоящих из микроэлементов одинаковой формы, легко поддается механизации. Тесная взаимосвязь между малыми размерами микроэлементов и возможностью их автоматической сборки является весьма существенным фактором как с точки зрения надежности, так и с точки зрения стоимости микромодулей.

Монолитная конструкция микромодуля обеспечивает повышенную электрическую и механическую прочность микроэлементов, улучшает распределение тепла внутри объема модуля, повышает влагостойкость микроэлементов, а также защищает микроэлементы от непосредственного воздействия таких неблагоприятных внешних факторов, как пыль, роса, туман, грибки и т. п.

Указанные преимущества микромодулей как системы из дискретных элементов и определяют широкое применение микромодулей в электронной аппаратуре.

III.3. МИКРОМОДУЛЬНАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

При конструировании этажерочных микромодулей и микромодульной аппаратуры применяют следующую терминологию.

Микромодуль — герметизированная конструкция части схемы радиоэлектронной аппаратуры, представляющая собой набор микроэлементов, плат с перемычками и свободных микроплат, собранных в виде «этажерки» и соединенных между собой соединительными проводниками согласно электрической схеме.

Как правило, в микромодуле заключена функционально законченная схема (триггер, видеоусилитель, мульти-вibrator и т. д.). В некоторых случаях в виде микромодуля может выполняться набор отдельных микроэлементов. Такой микромодуль принято называть микромодульной сборкой.

Микромодульный узел — конструктивно законченное изделие, состоящее из микромодулей и других радиоэлементов, установленных на печатной плате, не имеющее самостоятельного эксплуатационного назначения.

Микромодульный блок — функционально и конструктивно законченное изделие, состоящее из микромодульных узлов и субблоков и других радиоэлементов, не имеющих самостоятельного эксплуатационного назначения.

Микроэлемент — элемент (конденсатор, резистор, диод и т. д.), выполненный или установленный на микроплате и предназначенный для сборки в микромодули. Миниатюрные радиоэлементы (конденсаторы, переменные резисторы, трансформаторы и др.), конструктивно выполненные по типу и в габаритах микромодуля (или кратные габаритам микромодуля) и предназначенные для совместного использования с микромодулями в микромодульных блоках называются элементами в микромодульном исполнении.

Полиэлемент — разновидность микроэлемента в виде нескольких миниатюрных радиоэлементов, установленных или выполненных на одной микроплате.

Ключ — прямоугольный вырез на одном из углов микроплаты, служащий для ориентации платы и определения нумерации пазов.

Соединительный проводник — провод, проходящий вдоль микромодуля и соединяющий пазы микроплат.

Перемычка — печатный или объемный проводник, выполненный на микроплате, служащий для электрического соединения пазов и проводников микромодуля.

Цоколевка микроэлемента — условное цифровое обозначение пазов микроплаты, с которыми соединены выводы радиоэлемента, установленного или выполненного на микроплате.

III.4. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ МИКРОМОДУЛЕЙ

В процессе разработки отечественной конструкции микромодуля была выбрана форма микроэлементов, разработан принцип сборки и соединения микроэлементов в составе микромодуля, определено количество контактных точек микроэлементов и выводов микромодулей, произведен расчет габаритных размеров микроэлементов, определены цоколевки микроэлементов.

При разработке конструкции микромодуля необходимо учитывать следующие требования:

- микромодуль должен иметь стандартную конструкцию независимо от типов входящих в него микроэлементов и электрической схемы соединения;

- микроэлементы, входящие в состав микромодуля, должны быть универсальными и независимыми от типа схемы, в которой они применяются;

- конструкция микромодуля и микроэлементов должна обеспечивать их работу в условиях, оговоренных общими техническими требованиями на аппаратуру, и возможность простой механизации и автоматизации их производства;

- конструкция микромодуля и микроэлементов должна позволять использовать последние достижения в создании элементов на базе пленочной и полупроводниковой технологии.

Стандартизация элементов по трем габаритным размерам (например, изготовление их в виде одинаковых кубиков) нецелесообразна. Разнообразие радиоэлементов, их типов, характеристик, номинальных значений и т. д. требовали введения достаточно широких пределов изменения их объемов, которые позволили бы создать огромный ряд элементов — от тонкопленочных резисторов до катушек индуктивности и оксидно-полупроводниковых конденсаторов. Для получения минимальных размеров каждого элемента, по крайней мере

один из его размеров должен быть переменным. Конфигурацию элементов следовало выбирать так, чтобы максимально облегчить сборку их в микромодуль.

Перечисленным выше требованиям удовлетворяют элементы, предназначенные для сборки в объемные модули и выполненные на платах одинаковой формы (микроэлементы). Платы можно делать тонкими или толстыми, как того требуют отдельные элементы. Для сборки модулей такие микроэлементы можно накладывать один на другой. Ограничение, связанное с необходимостью создания выводов элементов только по периферии плат, допускает более эффективное использование площади плат.

При анализе различных геометрических форм было установлено, что наиболее рационально использовать квадратную форму микроплат по следующим причинам:

- квадратная форма микроплат в большей степени подходит для размещения на ней наиболее массовых радиодеталей, резисторов и конденсаторов, которые для реальных схем составляют 70% от общего количества радиодеталей;

- при равных полезных площадях, используемых под радиодетали, а это является одним из основных критериев сравнения, круглые и шестигранные платы имеют большие линейные размеры (диаметр или расстояние между противоположными сторонами), чем сторона квадратной платы;

- квадратная форма микроплат в большей степени отвечает требованиям автоматизации производства (удобство базирования по сторонам, меньшее число поворотов в пространстве и соответственно меньшее число производственных операций);

- микромодули с квадратным поперечным сечением наиболее плотно komponуются в составе узлов и блоков.

Для объемной конструкции микромодуля в виде столбика или этажерки наиболее простым и надежным способом соединения микроэлементов согласно электрической схеме является использование объемных проводников, проходящих вдоль микромодуля и закрепленных в пазах микроэлементов посредством пайки. При опре-

делений количества пазов микроплат учитывалось, что все внешние выводы микромодулей должны обязательно выходить на одну из сторон микромодуля. Количество выводов должно быть равно (или превышать) максимальному числу внешних выводов схем, реализуемых в составе микромодулей. Анализ большого числа различных электронных схем для определения максимального числа внешних выводов показал, что 40% схем имеют по 3—5 внешних выводов, 40% схем — по 6—8 внешних выводов, 12% схем — по 9—10 внешних выводов, 8% схем — по 11 внешних выводов. Учитывая эти данные и исходя из того, что на каждой стороне микроплаты должно быть одинаковое число пазов, общее число пазов было принято равным 12, т. е. по 3 паза на сторону.

Геометрические размеры микроплат выбирались также с учетом конструктивных особенностей микромодулей. Считалось, что размеры их должны быть минимальными, но в то же время необходимо было обеспечить возможность внутриблочной коммутации микромодулей с помощью печатных плат (при минимальных расстояниях между микромодулями). Рассматривались дальнейшие перспективы, когда на одной микроплате будет выполняться несколько радиодеталей (для полиэлементных микромодулей).

Исходным фактором для определения размеров квадратных микроплат с 12 пазами считалось расстояние между центрами соседних пазов. Оно должно было быть не менее 2 мм, иначе затруднительно выполнять коммутацию на печатных платах. Кроме того, небольшие расстояния между краями металлизированных покрытий соседних пазов привели бы к ухудшению ряда электрических параметров микроэлементов (пробивное напряжение, паразитные связи и др.). При расстояниях же между пазами более 3 мм габариты микроплат неоправданно увеличивались. Таким образом, расстояние между центрами пазов должно было лежать в пределах от 2 до 3 мм.

Проведенные исследования конструкций показали, что коммутационные возможности в микроблоках в наибольшей степени обеспечиваются, когда расстояние между пазами, расположенными на одной стороне, составляет 3 мм. Это соответствовало 3-мм координатной сет-

ке, принятой для печатных плат*. Указанные расстояния между пазами и определили габаритные размеры микроплат $9,6 \times 9,6$ мм. Толщина стандартной микроплаты была установлена равной $0,35 \pm 0,05$ мм, что было обусловлено механическими и технологическими характеристиками принятых керамических материалов.

Так как микроэлементы представляют собой отдельные радиодетали, выполненные на микроплатах, то возникает вопрос о схеме подключения выводов радиоэлемента к пазам микроплаты.

По количеству выводов радиоэлементы делятся на двухвыводные (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды и т. д.), трехвыводные (триоды), многовыводные (трансформаторы). Может быть выполнено несколько вариантов подключения выводов радиоэлемента к пазам микроплаты:

1. Вывод радиодетали подсоединяется в процессе изготовления к одному из пазов микроплаты); постоянное присоединение);

2. Вывод радиодетали присоединяется в процессе изготовления одновременно к нескольким пазам микроплаты (групповое присоединение);

3. Присоединение вывода радиодетали к пазам микроплаты в процессе изготовления не производится, а выполняется перед сборкой микромодуля.

Второй и третий варианты с точки зрения надежности менее предпочтительны, так как перед сборкой микроэлементов в микромодуль требуется их доработка. Всякая же доработка радиодеталей после их изготовления нежелательна и может привести к изменению их электрических параметров. Таким образом, предпочтение было отдано конструкции микроэлементов с постоянным присоединением выводов к определенным пазам.

Принятая геометрия типовой микроплаты позволяет в любых сочетаниях производить выбор пазов для подключения располагаемых на ней радиоэлементов, обеспечивая тем самым определенную гибкость при конструировании. Иначе говоря, каждый радиоэлемент может быть соединен с любым из 12 пазов микроплаты.

* В настоящее время в Советском Союзе для малогабаритной аппаратуры принята координатная сетка печатного монтажа с шагом 0,5 мм для размеров менее 2,5 мм.

Поясним сказанное на примере двухвыводных и многовыводных элементов. Для двухвыводных неполярных элементов порядок выбора пазов безразличен, т. е. варианты 1-4 и 4-1, 2-5 и 5-2 эквивалентны. Поэтому общее число вариантов соединений двухвыводных неполярных элементов определится как количество сочетаний из 12 элементов по 2 и будет равно

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{12!}{2!10!} = 66.$$

Для двухвыводных полярных элементов, например диодов или оксидно-полупроводниковых конденсаторов, каждый из полюсов, в общем случае, может занимать любое из 12 положений на плате. Тогда общее количество вариантов соединений для них определится как количество размещений из 12 элементов по 2 и будет равно

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!} = \frac{12!}{10!} = 132.$$

Общее количество возможных вариантов соединений для трехвыводных элементов, если все 3 вывода полярны, составит уже

$$A_{12}^3 = \frac{12!}{(12-3)!} = 1\,320.$$

Таким образом, возможное число типов микроэлементов, отличающихся друг от друга только вариантом соединения радиоэлемента с пазами микроплаты, будет составлять для резисторов — 66, диодов — 132, транзисторов — 1 320 и т. д. Вполне естественно, что столь большая номенклатура микроэлементов не отвечает требованиям крупносерийного производства, поскольку приводит к трудностям, связанными с изготовлением, хранением и материально-техническим снабжением такого большого числа типов микроэлементов. Поэтому для облегчения учета деталей, упрощения и удешевления их производства необходимо было разработать такой способ соединения микроэлементов в составе микромодуля, который позволил бы значительно сократить число используемых вариантов соединений. Это возможно осуществить за счет введения в конструкцию микромодуля дополнительных микроплат с нанесенными на них перемычками, соединяющими определенные пазы микро-

платы и играющими роль дополнительных монтажных связей между микроэлементами, а также разрывов соединительных проводников в необходимых местах. В общем случае такой метод конструирования позволяет сократить количество вариантов соединений для каждого микроэлемента до одного. Однако значительное увеличение числа плат приводит к неэффективным объемным и весовым потерям. Поэтому путем тщательного анализа были выбраны такие варианты цоколевки микроэлементов, которые обеспечивают при вращении и переворачивании микроплаты наибольшее количество неповторяющихся вариантов соединения пазов с соединительными проводниками.

Так для двухвыводных неполярных элементов были выбраны варианты с 8-кратным повторением, обеспечивающие наибольшее количество различных вариантов расположения: 1-4; 1-5; 1-8. Варианты 1-2 и 1-11, как технически трудновыполнимые, были исключены из рассмотрения. Для двухвыводных полярных микроэлементов, учитывая их количественное соотношение с биполярными элементами в схемах микромодулей, были выбраны варианты цоколевки с 4-кратным повторением, обеспечивающие возможность чередования полярности в каждой контактной точке: 1-6 и 2-5. Варианты цоколевки транзисторов и трансформаторов были определены на основе анализа большого числа различных схем и опыта конструирования микромодулей. Как показала практика, такая система подключения выводов радиодеталей и выбранные цоколевки позволяют создавать в виде микромодулей из выпускаемых промышленностью микроэлементов электрические схемы любого типа и любой сложности. Для многовыводных радиодеталей, например трансформаторов, цоколевка определялась из расчета создания простейшей конструкции микроэлемента.

Микромодули имеют ограничения по высоте, максимальной частоте и рассеиваемой мощности. Исходя из требований размещения в одном микромодуле функционально законченной простейшей схемы (каскада), а также для упрощения технологии изготовления и повышения механической прочности максимальная высота микромодулей была определена равной 25 мм. Последующая разработка микромодулей показала, что этот раз-

мер был выбран правильно — абсолютное большинство элементарных схем умещается в микромодули с высотой до 25 мм. Поэтому все стандартное технологическое оборудование, применяемое при изготовлении микромодулей, рассчитано на микромодули до 25 мм высоты.

III.5. ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ МИКРОМОДУЛЯ

Как уже отмечалось ранее, объемная конструкция микромодуля весьма удобна для компоновки в составе узлов и блоков с такими высокими радиодеталями как реле, кварцы, трансформаторы, контуры и т. п. Это преимущество микромодулей перед плоскими конструкциями пленочных и полупроводниковых интегральных схем, а также относительно несложная технология изготовления микромодулей является причиной того, что микромодули могут во многих случаях «конкурировать» с интегральными схемами и широко использоваться в новых разработках. Вместе с тем бесспорные преимущества интегральных схем относительно микромодулей по плотности и надежности оправдывают стремление конструкторов включать в состав микромодулей интегральные схемы. По мере совершенствования технологических методов изготовления пленочных и полупроводниковых интегральных схем область их применения будет непрерывно расширяться.

Если в первые годы применения микромодулей полиэлементы составлялись из дискретных деталей, то в последнее время все больше начинают использоваться полиэлементы, полученные методом пленочной и полупроводниковой технологии. На типовой керамической или стеклянной микроплате методами пленочной технологии изготавливаются все резисторы и конденсаторы, входящие в схему данного микромодуля. Активные элементы (диоды и транзисторы) изготавливаются в одном или нескольких кусочках монокристаллического полупроводника, устанавливаемого на типовую микроплату. Возможно также использование в составе микромодуля функционально законченных сложных пленочных и полупроводниковых схем. Однако увеличение функциональной сложности микромодуля, которое при этом наблюдается, приводит к необходимости некоторой модерни-

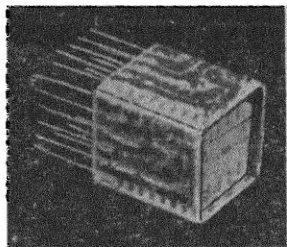


Рис. III.5. Микромодуль с использованием гибридных и пленочных микросхем.

зации конструкции микромодуля с целью увеличения числа соединительных проводников, количества выводных концов и повышения надежности соединения внутри микромодуля.

На рис. III.5 показан микромодуль модернизированной конструкции, содержащий несколько микроплат с напыленными тонкими пленками. Каждая микроплата представляет собой *RC*-цепочку, к которой методом термокомпрессии присоединены активные приборы.

(Если будут разработаны методы изготовления активных тонкопленочных приборов непосредственно на такой схеме, то это исключит необходимость в гибридном методе компоновки.

Микромодули, содержащие по восемь плат (четыре триггера), имеют высоту $1,65\text{ см}$ и состоят из 64 элементов. Используемые в этих модулях микродиоды и микротранзисторы в сочетании с тонкими пленками позволили получить плотность упаковки около 60 деталей/см^3 .

Микромодули, изготовленные из трех плат, имеют высоту $0,65\text{ см}$, содержат 24 элемента и выполняют функции одного триггера, двух вентилях и двух эмиттерных повторителей.

Плотность элементов в модуле равна 48 деталей/см^3 . Эту плотность можно было бы легко удвоить, если модуль состоял бы только из одних триггеров.

Соединение микроплат в модуль осуществляется с помощью 36 медных шин, привариваемых электронным лучом к металлизированным контактным участкам на торцах микроплат; 20 из 36 соединительных шин подсоединяются к контактным выводам модуля.

На рис. III.6 изображена микроплата с расположенными на ней полупроводниковыми интегральными схемами.

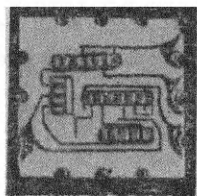


Рис. III.6. Микроплата с полупроводниковыми интегральными схемами.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

Микроэлементы — миниатюрные радиодетали специальной формы, предназначенные для работы только в составе микромодулей данной конструкции, поэтому они отличаются от обычных радиодеталей. Прежде всего микроэлементы должны удовлетворять единым общим техническим требованиям, т. е. иметь некоторые общие параметры одинаковыми (например, диапазон рабочих температур, вибростойкость и вибропрочность в составе микромодуля и т. д.).

Все микроэлементы должны иметь основание одинаковой формы, определяемое принятой конструкцией микромодуля, т. е. два размера всех микроэлементов будут постоянными и одинаковыми. Третий размер (высота) должен быть по возможности наименьшим (в этом заключается одна из основных трудностей создания микроэлементов).

Так как микроэлементы в условиях эксплуатации будут работать в составе герметизированного микромодуля, то нет необходимости требовать от их конструкции высокой влагостойкости и механической прочности, которые требуются от готовых микромодулей. Конструкция микроэлементов должна обеспечивать только сохранность их параметров в условиях хранения микроэлементов, проверки параметров и при сборке их в микромодуль. Механическая прочность микроэлементов должна быть такой, чтобы касание и перенос микроэлемента рукой человека или установочной головкой автомата не вызывали механических повреждений. Защита поверхностей микроэлементов от влаги должна обеспечивать сохранность параметров микроэлементов только при их нахождении в нормальных условиях, т. е. при

влажности воздуха не более 50—80% при температуре 15—35°С. Однако длительное пребывание микроэлементов даже в условиях нормальной влажности может привести к нежелательному уменьшению сопротивления изоляции или ухудшению других параметров (например, увеличению тангенса угла потерь конденсаторов), поэтому в соответствии с техническими условиями на микроэлементы допускается их хранение вне герметичной тары в нормальных условиях не более 2 месяцев. Этого времени достаточно, чтобы микроэлементы скомплектовать, собрать и загерметизировать в микромодуль.

Таким образом, микроэлементы в отличие от обычных радиоэлементов, являются как бы полуфабрикатами (хотя они и выпускаются промышленностью как самостоятельные изделия). Радиодеталими со свойственными им параметрами микроэлементы становятся только будучи собранными и загерметизированными в составе микромодулей. Поэтому все электрические и эксплуатационные параметры микроэлементов, приводимые в справочниках или технических условиях, относятся только к микроэлементам, работающим в составе микромодулей данной конструкции, изготавливаемых по типовой, единой технологии. В другой конструкции микромодуля или в микромодуле, изготовленном по другой технологии, параметры данного микроэлемента могут отличаться от справочных данных. Это является характерной особенностью микроэлементов. Использовать микроэлементы в других конструкциях или применять микроэлементы без плат можно, но никаких гарантий за сохранность параметров микроэлементов при этом дать нельзя.

Конструкции микроэлементов должны быть такими, чтобы обеспечивать возможность максимальной механизации и автоматизации их производства и производства микромодулей. Для удобства механизации процесса изготовления микроэлементов и микромодулей, одна сторона микроэлементов, как правило, выполняется плоской, свободной от выступающих конструктивных элементов.

Не допускается при сборке микромодулей механическая доработка и подгонка микроэлементов (в отличие, например, от необходимой перед монтажом рихтовки и обрезки выводов радиодеталей). Это налагает жесткие

требования не только на стабильность электрических параметров микроэлементов, но и определяет жесткие допуски на геометрические размеры микроэлементов, что также является их характерной особенностью.

Выпускаемые промышленностью микроэлементы допускают нормальную работу в составе микромодулей в течение 5 000 час при следующих эксплуатационных условиях:

- при влажности окружающей микромодули среды 98% при температуре $+40^{\circ}\text{C}$;

- при вибрационных нагрузках с ускорением до 40 g в диапазоне частот от 5 до 5 000 гц;

- при ударных нагрузках, многократно воздействующих на микромодули, с ускорением до 150 g;

- при одиночных ударах с ускорением до 1 000 g;

- при линейных ускорениях до 150 g;

- при воздействии инея, росы, морского тумана и тропических условий.

IV.1. МИКРОПЛАТЫ

Микроплаты предназначены для размещения на них печатных или навесных радиодеталей, а также для размещения печатных проводников («перемычек»), осуществляющих соединение проводников внутри микромодуля (в случае необходимости). Микроплаты могут использоваться также в качестве концевых плат для повышения механической прочности и влагостойкости микромодулей. Так как микроплаты являются несущей частью (основанием) микроэлементов, то они должны удовлетворять следующим основным требованиям.

Микроплаты должны быть механически прочными при достаточно малой толщине, чтобы платы не трескались и не ломались при сборке микроэлементов в модуль, а также при проверке параметров микроэлементов. Практически установлено, что среднее значение предела прочности плат при изгибе должно быть не менее 600 кгс/см² при минимальном его значении в 400 кгс/см².

Для электрического и механического соединения микроэлементов друг с другом в составе микромодуля используются пазы микроплат. Чтобы обеспечить высокую надежность этих соединений, прочность сцепления

металлизации с керамикой в пазах микроплат должна быть достаточно высокой — среднее значение силы, отрывающей металлизацию от керамики, должно быть 1,2 кг, но не менее 0,7 кг.

Для того чтобы обеспечить механизированную сборку и пайку микроэлементов в составе микромодуля, размеры как самих микроплат, так и их металлизированных пазов должны точно соответствовать чертежу. Отклонение этих размеров от допустимых может привести к непоправимому браку при сборке микроэлементов в микромодуль. Так, уменьшение размеров микроплаты ниже допустимого может привести к отдельным непропаям пазов с соединительными проводниками, а увеличение размеров приведет к растрескиванию микроплат при их установке устройство для сборки и пайки микромодулей. Сопротивление изоляции между соседними пазами в нормальных условиях должно быть не менее 10^{10} ом. Микроплата должна выдерживать без коронирования 500 в постоянного напряжения, приложенного между двумя соседними пазами.

Из применяемых в радиопромышленности материалов наилучшим образом удовлетворяют требованиям различные сорта керамики, поэтому выпускаемые отечественной промышленностью микроплаты изготавливаются из ультрафарфора, миналунда и фотоситалла.

Всего промышленностью выпускается более 15 типов микроплат, отличающихся друг от друга по толщине и рельефу поверхности. Поперечные размеры и геометрия контура микроплат всех типов одинаковы и соответствуют типовой микроплате (рис. IV.1). Толщина типовой микроплаты равна $0,35 \pm 0,05$ мм. Толщина других типов плат лежит в пределах от 0,35 до 1,0 мм.

В Советском Союзе в основу микромодулей положены квадратные микроплаты со стороной квадрата 9,6 мм. На каждой стороне микроплаты имеется по 3 металлизированных (серебром или молибдено-марганцем) паза, в которые при сборке микромодуля впайваются соединительные проводники. Металлизированный слой покрывает внутреннюю поверхность пазов и окаймляет пазы на плоскостях и торце платы буртиком шириной до 0,4 мм при толщине металлизации 10—20 мкм, что обеспечивает необходимое сцепление металлизации с керамикой.

В одном из углов микроплаты имеется ключ—прямоугольный вырез размером $1,0 \times 0,5$ мм, служащий для ориентации микролат в процессе изготовления микроэлементов (при нанесении металлизированных выводов радиоэлементов, установке навесных радиоэлементов на

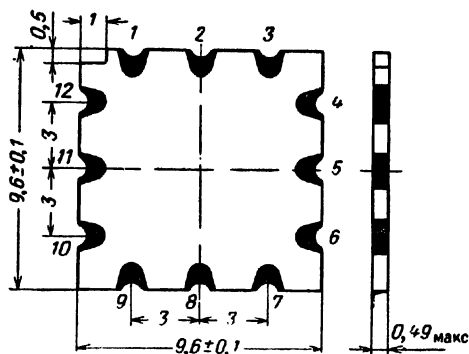


Рис. IV.1. Типовая микроплата.

плату и т. д.), а также для ориентации микроэлементов относительно друг друга при их сборке в микромодуль. Нумерация пазов микроплаты ведется по часовой стрелке, начиная от ключа при нормальном расположении микроплаты. (Нормальным положением микроплаты считается такое, при котором ключ находится в левом верхнем углу микроплаты и большая его сторона расположена горизонтально).

В целях обеспечения пайки соединительных проводников с микроплатами металлизированные пазы лудят на глубину $0,4$ — $0,5$ мм при толщине микролат от $0,3$ до $0,8$ мм и на глубину $0,3$ — $0,4$ мм при толщине более $0,9$ мм. Толщина металлизированного слоя, включая припой, составляет не более $0,07$ мм на сторону в плоскости и по торцу микроплаты. Для лужения пазов применяется припой ПОС-61 с прибавкой серебра (олово 61%, свинец 37—38%, серебро 2—3%).

IV.2. РЕЗИСТОРЫ

В составе микромодулей используются резисторы — микроэлементы типа СЗ-4, (СКПМ), СКНМ, ССНМ, С5-6, С5-18, СТЗ-26, СТ2-26 и СТЗ-24.

Наибольшее применение в микромодулях нашли резисторы типа СЗ-4. Пленочные композиционные резисторы типа СЗ-4 (СКПМ) предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов в интервале температур от -60° до $+125^{\circ}\text{C}$. Резисторы изготавливаются непосредственно на поверхности типовой микроплаты и имеют выводы 1—4, 1—5, 1—8 (рис. IV.2). Они выпускаются с номинальными значениями сопротивлений от 10 до $3,3 \cdot 10^6$ *ом* по шкале ГОСТ 2825—60 с рабочим напряжением до 120 *в*, допустимой мощностью рассеяния 250 *мвт*. ТКС резисторов лежит в пределах от $16 \cdot 10^{-4}$ до $+2 \cdot 10^{-4}$ *1/град*. Э. д. с. шумов не превышает 15 *мкв/в*. Резисторы СЗ-4 выпускают с допусками $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$. График зависимости допустимой мощности рассеяния на резисторе от температуры показан на рис. IV.3.

Ниточные композиционные (СКНМ) и станатные (ССНМ) резисторы предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов в интервале температур от -60° до $+125^{\circ}\text{C}$. Общий вид резисторов показан на рис. IV.4.

Резисторы СКНМ выпускаются с номинальными значениями от 150 *ом* до 1 *Мом*, с мощностью рассеяния 25 *мвт*, предельным рабочим напряжением 30 *в* (импульсное напряжение 50 *в*) и от 100 *ом* до 3,3 *Мом* с мощностью рассеяния 125 *мвт*, предельным рабочим напряжением 80 *в* (импульсное напряжение 160 *в*). Резисторы ССНМ выпускаются с номинальными значениями от 5,6 *ом* до 2,7 *ком*, с мощностью рассеяния 50 *мвт*; от 560 *ом* до 5,1 *ком* с мощностью рассеяния 125 *мвт* и от 10 до 510 *ом* с мощностью рассеяния 250 *мвт*. Допустимые отклонения сопротивлений СКНМ и ССНМ от номинала ± 5 , ± 10 , $\pm 20\%$, ТКС резисторов не превышает 10^{-3} *1/град*.

Допустимые электрические нагрузки резисторов СКНМ и ССНМ в интервале температур от -60° до $+125^{\circ}\text{C}$ определяются графиком, приведенным на рис. IV.5.

Проволочные постоянные резисторы типа С5-6 предназначены для работы в цепях постоянного тока при рабочем напряжении до 120 *в*, в цепях переменного тока с частотой до 20 *кГц* при рабочем напряжении до 120 *в* (эффективное значение) и импульсного тока с напря-

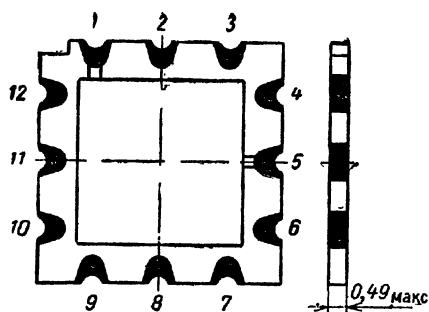


Рис. IV.2. Общий вид резистора СЗ-4.

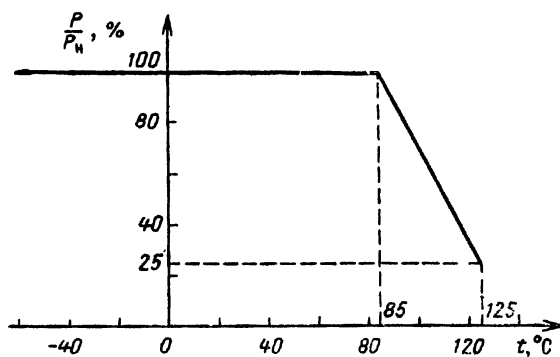


Рис. IV.3. Зависимость допустимой мощности рассеяния на резисторе СЗ-4 от температуры.

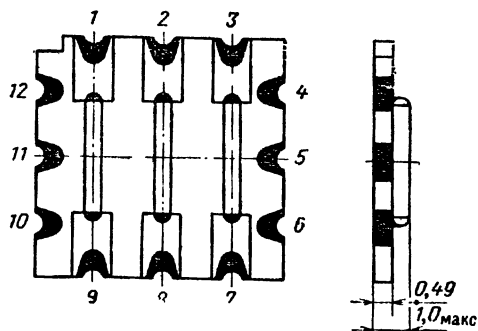


Рис. IV.4. Общий вид резисторов СКНМ и ССНМ.

жением до 160 в в интервале температур от -60° до $+70^{\circ}\text{C}$. Конструктивно резисторы С5-6 выполнены, как показано на рис. IV.6. Выводы резисторов подключают к одной из следующих пар пазов микроплаты: 1-4, 1-5, 1-8. Резисторы изготавливаются с номинальными значе-

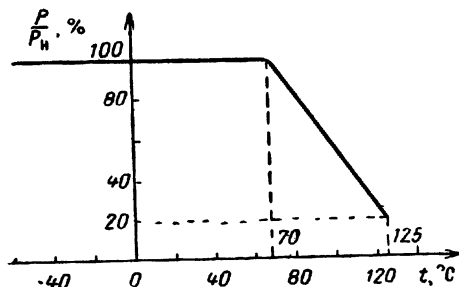


Рис. IV.5. Зависимость допустимой мощности рассеяния на резисторах СКНМ и ССНМ от температуры.

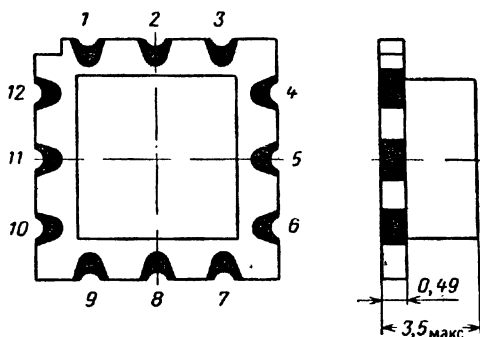


Рис. IV.6. Общий вид резисторов С5-6.

ниями сопротивлений от 10 ом до 510 ком и допустимыми отклонениями от номинала $\pm 1\%$ для резисторов от 10 до 100 000 ом и $\pm 5\%$ — от 11 до 510 ком. Номинальная мощность рассеяния резисторов 50 мвт, $\text{TKC} = (2 \div 2,5) \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$ в рабочем интервале температур. Допустимая электрическая нагрузка резисторов определяется графиком, изображенным на рис. IV.7.

Постоянные проволоочные резисторы С5-18 отличаются от резисторов С5-6 максимально-допустимой тем-

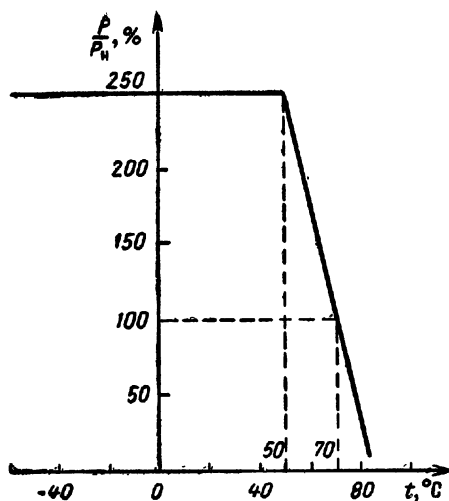


Рис. IV.7. Зависимость допустимой мощности рассеяния на резисторе С5-6 от температуры.

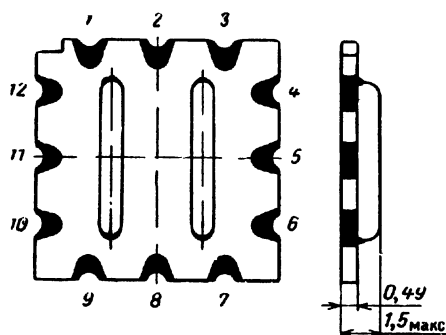


Рис. IV.8. Общий вид резисторов типа CT2-26, CT3-24, CT3-26.

пературой эксплуатации, равной $+125^{\circ}\text{C}$, допустимыми отклонениями сопротивлений от номинальных значений $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0\%$, допустимой мощностью рассеяния — 125 мвт.

Терморезисторы СТ2-26, СТ3-24, СТ3-26 предназначены для работы в интервале температур от -60°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Общий вид терморезисторов показан на рис. IV.8. Выводы терморезисторов подключают к лазам микроплаты: 1-4, 1-5, 1-8. Основные параметры терморезисторов приведены в табл. IV.1.

ТАБЛИЦА IV.1

Тип терморезистора	Номиналы сопротивления при $+20^{\circ}\text{C}$, <i>ком</i>	Допуск отклонения от номиналов, %	Минимальная мощность рассеяния, <i>мвт</i>		
			$t = +20^{\circ}\text{C}$	$t = -60^{\circ}\text{C}$	$t = +125^{\circ}\text{C}$
СТ3-26	0,1—0,68	± 20	10—20	12—25	2,0
СТ2-26	1—100	± 20	10—20	12—25	2,0
СТ3-24	0,68; 1; 1,5; 2,2; 3,3	± 20	0,15—2,0	0,2—2,5	0,3

Промежуточные номинальные значения сопротивлений терморезисторов СТ2-26 и СТ3-26 соответствуют 20%-ному ряду ГОСТ 2825-60.

Изменение сопротивления терморезистора в интервале температур характеризуется зависимостью

$$R_T = R_{T_0} e^{\frac{B(T_0 - T)}{T_0 T}},$$

где R_T — сопротивление при температуре T в градусах Кельвина;

R_{T_0} — сопротивление при температуре T_0 (273°C);

B — постоянная, определяемая физическими свойствами полупроводникового материала, из которого изготовлен терморезистор;

e — основание натурального логарифма.

Постоянная B определяет величину отрицательного температурного коэффициента сопротивления терморезисторов: $\text{ТКС} = -B/T^2$, где T — температура в градусах Кельвина, при которой определяется ТКС.

Постоянная B и отрицательный ТКС при $+20^{\circ}\text{C}$ находятся в пределах:

для СТ2-26, СТ3-26 $B=2\,060 \div 4\,300^{\circ}\text{K}$, $\text{ТКС} = -2,4 \div -5\,1/\text{град}$;

для СТ3-24 $B=2\,250 \div 3\,520^{\circ}\text{K}$; $\text{ТКС} = -2,6 \div -4,1\,1/\text{град}$.

IV.3. КОНДЕНСАТОРЫ

Керамические конденсаторы типа КМК предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов в интервале температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ для конденсаторов групп Н90 и от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$ для остальных групп. Существует 3 вида конструкции конденсаторов: однослойные КМК-1, многослойные КМК-2 и

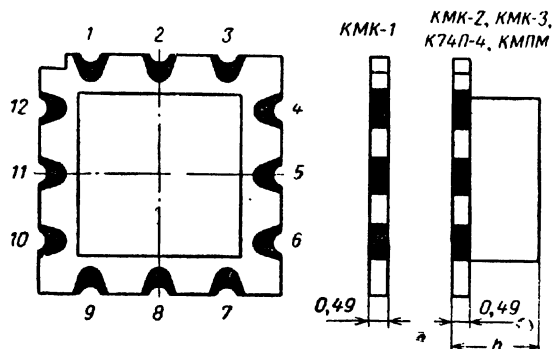


Рис. IV.9. Общий вид конденсаторов КМК-1, КМК-2 и КМК-3, К74П-4, КМПК:

$h=2,2\text{ мм}$ для КМК-2; $h=1,8$ для КМК-3; $h=2,7\text{ мм}$ для КМКМ и К74П-4.

КМК-3 (рис. IV.9). Выводы всех типов конденсаторов подключают к одной из пар пазов микроплаты: 1-4, 1-5 и 1-8.

Конденсаторы изготавливаются с номинальными значениями емкостей: КМК-1 от 4,7 до 100 нф с рабочим напряжением 160 в; КМК-2 от 16 нф до 0,047 мкф с рабочими напряжениями 50, 70 и 100 в; КМК-3 от 75 нф до 0,047 мкф с рабочим напряжением 35 в. Промежуточные значения емкости конденсаторов групп П33, М47, М75, М750 и М1500 соответствуют ряду ± 5 , ± 10 и $\pm 20\%$; групп Н30 — ряду $+50 \div -20\%$; групп Н90 —

ряду $+80 \div -20\%$ (ГОСТ 2519—60). Тангенс угла потерь конденсаторов: 0,0015 — для групп ПЗЗ, М47, М75, М750 и М1500; 0,035 — для групп Н30 и Н90. По величине температурного коэффициента емкости (ТКЕ) и изменению емкости в интервале рабочих температур относительно емкости в нормальных условиях конденсаторы делятся на группы по температурной стабильности согласно табл. IV.2.

ТАБЛИЦА IV.2

Условное обозначение группы конденсаторов	Изменение емкости, в интервале $+20 \div -60^\circ\text{C}$	ТКЕ $\times 10^{-4}$, $1/^\circ\text{рад}$ от $+20$ до $+125^\circ\text{C}$	Цвет 1-й маркировочной точки	Цвет 2-й маркировочной точки
ПЗЗ	$\pm 0,5$	$+(38 \pm 30)$	Серый	Серый
М47	$\pm 1,5$	$-(47 \pm 30)$	Голубой	Голубой
М75	± 2	$-(75 \pm 30)$	Голубой	Красный
М750	± 12	$-(750 \pm 100)$	Красный	Красный
М1500	± 25	$-(1500 \pm 200)$	Зеленый	Зеленый
Н30	± 30		Оранжевый	Зеленый
Н90	(от -60 до $+125^\circ\text{C}$) $-90 \div +50\%$ (от -60 до 85°C)		Оранжевый	Белый

Зависимость относительного изменения емкости конденсаторов от температуры показана на рис. IV.10.

После сборки и заливки конденсаторов в микромодуль электрические характеристики их несколько изменяются. Степень этого изменения зависит от конкретной схемы сборки. Ориентировочно можно считать, что емкость конденсаторов КМК-1 при заливке эпоксидным компаундом изменяется на $5\text{—}7\text{ нФ}$, а конденсаторов КМК-2,3 — на $7 \div 13\text{ нФ}$ (для случая, когда несколько конденсаторов расположены в микромодуле рядом). Однако изменение емкости конденсаторов в каждом отдельном случае должно быть определено опытным путем.

Оксидно-полупроводниковые конденсаторы типа КОПМ-2 (КОПМ) предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов в интервале температур от -60 до $+125^\circ\text{C}$. Общий вид конденсаторов изображен на рис. IV.11. Конденсаторы выпускаются: на номинальные напряжения 6 в емкостью 1,0; 1,5; 2,2;

3,3; 4,7; 6,8 и 10,0 мкф; на номинальное напряжение 15 в емкостью 0,047; 0,068; 0,1; 0,47; 0,68; 1,0; 1,5; 2,2; 3,3 мкф; на номинальное напряжение 30 в емкостью 0,47; 0,68; 1,0; 1,5; 2,2 мкф. Напряжение на конденсаторах в усло-

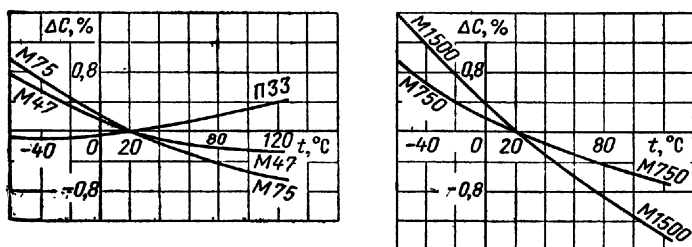


Рис. IV.10. Зависимость относительного изменения емкости ΔC конденсаторов КМК от температуры:

$$\Delta C = \frac{C_t - C_{20^\circ \text{C}}}{C_{20^\circ \text{C}}},$$

где C_t — емкость при данной температуре; $C_{20^\circ \text{C}}$ — емкость при температуре 20°C

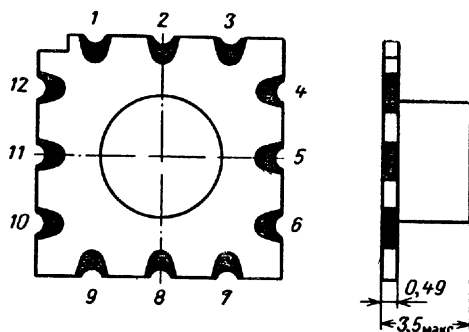


Рис. IV.11. Общий вид конденсаторов КОПМ-2 и КОПМ.

виях повышенных температур не должно превышать значений, определяемых по графику рис. IV.12. Конденсаторы изготавливают с допустимыми отклонениями действительной величины емкости от номинальной на ± 10 , ± 20 и $\pm 30\%$. После сборки и заливки эпоксидным компаундом в составе микромодуля изменение емкости конденсаторов не превышает $\pm 5\%$, тангенс угла потерь на

частоте 50 гц не менее 15%, на частоте 1 000 гц — менее 50%, ток утечки менее 3 мка. Характер зависимости емкости и тангенса угла потерь конденсатора от температуры показан на рис. IV.13.

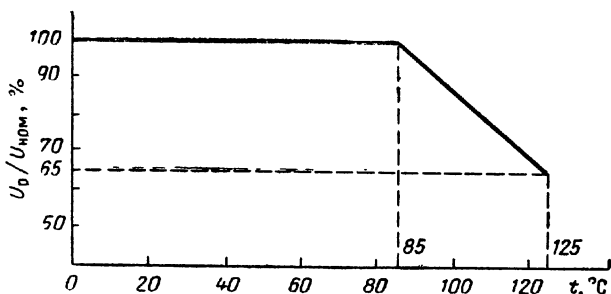


Рис. IV.12. Зависимость допустимого напряжения на конденсаторе К53-5А от температуры.

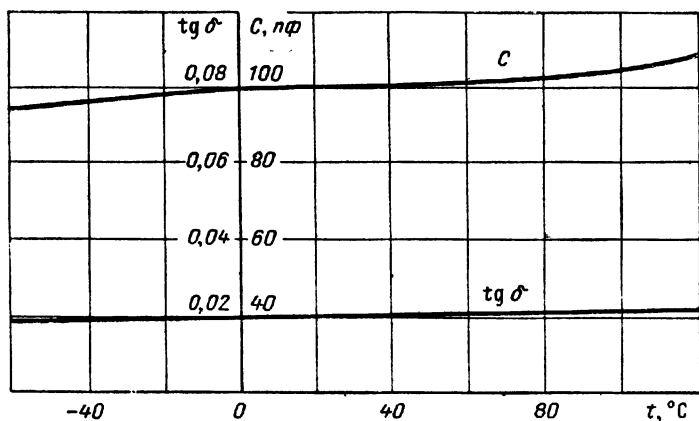


Рис. IV.13. Зависимость емкости и тангенса угла потерь конденсаторов К53-5А (30 в×2,2 мкф) от температуры.

Металлопленочные конденсаторы постоянной емкости К74П-4 или КМПМ предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от -60 до $+85^\circ\text{C}$ (для КМПМ) и до $+125^\circ\text{C}$ (для К74П-4). По конструкции конденса-

торы К74П-4 и КМПМ идентичны. (Общий вид этих конденсаторов показан на рис. IV.9).

Номинальные значения емкости конденсаторов соответствуют величинам: 1 000, 1 500, 2 200, 3 300, 4 700, 6 800 пф и 0,01 мкф с допускаемыми отклонениями $\pm 10\%$ и $\pm 20\%$. Конденсаторы изготавливают на номинальное напряжение 160 в в интервале температур до

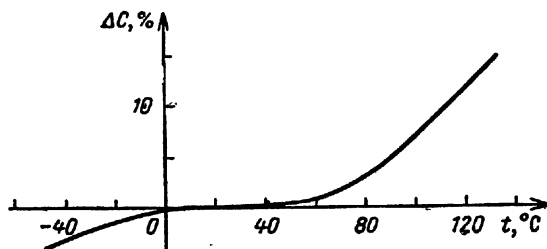


Рис. IV.14. Зависимость относительного изменения емкости ΔC конденсаторов К74П-4 от температуры:

$$\Delta C = \frac{C_t - C_{20^\circ \text{C}}}{C_{20^\circ \text{C}}}.$$

+85°С, напряжение 100 в для температур от +85 до +100°С и 60 в для температур от +100 до +125°С. Амплитуда переменного тока или пульсирующего относительно допустимого постоянного напряжения не должна превышать: 50% на частотах до 1 000 гц, 20% на частотах от 1 000 гц до 5 кгц, 10% на частотах от 5 до 10 кгц, 5% на частотах от 10 до 20 кгц (сумма постоянного напряжения и переменного не должна превышать допустимого постоянного напряжения). Тангенс угла потерь не превышает 0,01 для К74П-4 и 0,015 для КМПМ. Сопротивление изоляции равно 10 000 ом. После сборки и герметизации конденсаторов в микромодули емкость конденсаторов может измениться не более чем на $\pm 5\%$.

Характер относительного изменения емкости конденсатора в зависимости от температуры показан на рис. IV.14.

Подстроечный конденсатор ММКТ-3/20 предназначен для работы в интервале температур от -60 до +75°С. Конденсатор изготавливается в соответствии

с рис. IV.15. Максимальная емкость конденсатора 20 *пф*, минимальная емкость 3 *пф*. Рабочее напряжение равно 80 *в* (испытательное напряжение составляет 240 *в*). Со-

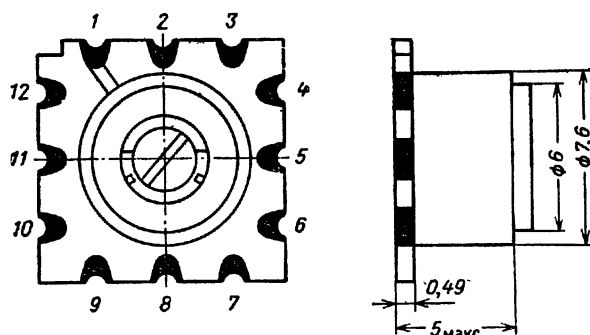


Рис. IV.15. Общий вид конденсаторов ММКТ-3/20.

противление изоляции 1 000 *Мом*. Тангенс угла потерь равен 0,03. Температурный коэффициент емкости конденсаторов в интервале температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ лежит в пределах $(200 \pm 800) \cdot 10^{-6}$ 1/*град*.

IV.4. КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Катушки индуктивности типа ИФМ предназначены для работы на постоянном и переменном токе (до 5 *ма*) в интервале температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$. Общий вид катушки представлен на рис. IV.16. Выводы катушек подключают к пазам микроплаты: 1-5, 1-4 или 1-8. Номинальные значения индуктивностей: 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 500 *мкгн*. Допустимые отклонения от номинальных значений: $\pm 10\%$ для группы от 1

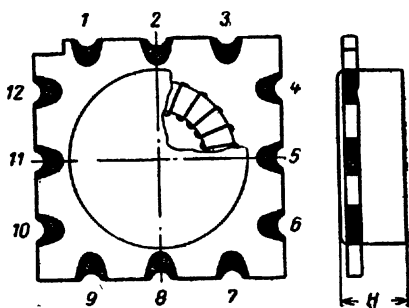


Рис. IV.16. Общий вид катушек индуктивности типа ИФМ. Высота катушки индуктивности:

$H=3,0$ мм для $L=1 \div 50$ *мкгн*; $H=3,8$ мм для $L=1000 \div 2500$ *мкгн*; $H=4,5$ мм для $L=400 \div 630$ *мкгн*.

до 5 мкГн; $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$ для группы от 6,3 до 10 мкГн; $\pm 5\%$ для группы от 12,5 до 2 500 мкГн.

Добротность катушек соответствует данным, указанным в табл. IV.3.

ТАБЛИЦА IV.3

Параметр	Группа индуктивности, мкГн				
	1—2,5	3,35—86	20—200	160—630	1000—2500
Добротность . . .	60	80	80	50	20
Частота измерения, МГц . . .	15	5	2,5	1	0,1

Температурный коэффициент катушек индуктивности (ТКИ) в интервале температур от -60 до $+85^\circ\text{C}$: для индуктивностей от 1 до 630 мкГн $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ 1/град, от 1 000 до 2 500 мкГн $\pm (3,7 \div 7,5) \cdot 10^{-3}$ 1/град.

Катушки ИФМ выполняются на ферритовых кольцах марки 20ВЧ, 50ВЧ, 100НН и 1000НМ и приклеиваются к микроплате. Выводы катушки пропускаются через отверстие микроплаты и распаиваются к печатным проводникам, соединенным с пазами микроплаты. Чтобы защитить катушку от влияния компаунда, сверху ее закрывают полиамидным колпаком, который также приклеивается к микроплате. Снизу выводы катушки и отверстие заливаются эмалью с тем, чтобы на катушку не попадала влага и компаунд.

Катушки индуктивности типа МКИ, МКИП, МКИС, постоянные, переменные, связанные, соответственно, предназначены для работы в схемах микромодулей в интервале температур от -60 до $+85^\circ\text{C}$ в цепях переменного и постоянного тока с максимальным напряжением 100 в при токе нагрузки до 5 ма.

Конструктивно катушки индуктивности изготавливают на микроплате в соответствии с рис. IV.17 в микромодульном исполнении (залитые). В отличие от ИФМ, у которых сердечником является ферритовое кольцо, у катушек индуктивности типа МКИ сердечником являются ферритовые чашки. Тип катушки, величина ее индуктивности и габаритные размеры, а также

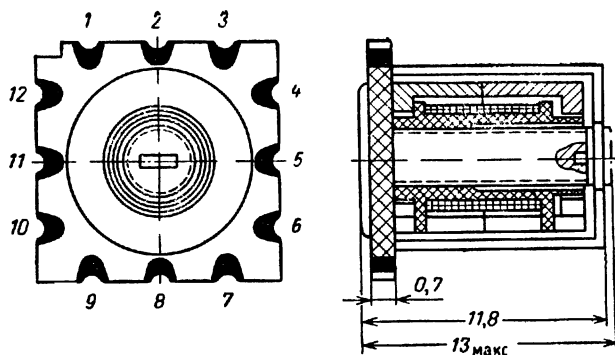


Рис. IV.17. Общий вид катушек индуктивности типа МКИ.

точность изготовления (для МКИ, МКИС) и пределы регулировки (для МКИП) указаны в табл. IV.4.

Величины температурного коэффициента катушек индуктивности указаны в табл. IV.5.

Добротность постоянных и переменных катушек лежит в пределах от 50 до 90, связанных — от 45 до 80.

ТАБЛИЦА IV.4

Тип катушки	Индуктивность, $\mu\text{кГн}$	Высота, мм	Точность изготовления или перестройка, %
МКИ	1—8	9,8	± 5
МКИ	10—2500	11,8	± 5
МКИП	1—8	9,8—11	± 10
МКИП	10—2500	11,8—13	± 10
МКИС	1—10	9,8	± 5
МКИС	16—2500	11,8	± 5

ТАБЛИЦА IV.5

Индуктивность, $\mu\text{кГн}$	ТКИ $\times 10^{-6}$, 1/град	
	$t = -60 \div +20^\circ\text{C}$	$t = +20 \div +85^\circ\text{C}$
1—315	± 300	± 300
400—1000	$-200 \div +400$	$-100 \div +400$
1250—2500	$-200 \div +800$	$-100 \div +500$

После сборки микроиндуктивностей в микромодули величины индуктивности изменяются не более $\pm 2\%$ и добротности не более 10% . Точность изготовления постоянных и связанных катушек индуктивности не хуже $\pm 5\%$.

IV.5. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформаторы типа ММТИ — микромодульные импульсные трансформаторы с ферритовыми и пермалловыми сердечниками. Ферритовые трансформаторы работают в интервале температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$, пермалловые от -60 до $+85^\circ\text{C}$. Ферритовые трансфор-

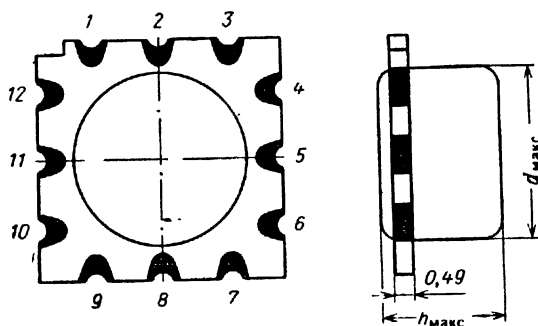


Рис. IV.18. Общий вид трансформаторов типа ММТИ и ММТЗ:

для ММТИ $h_{\text{макс}}=6 \text{ мм}$, $d_{\text{макс}}=7,6 \text{ мм}$; для ММТЗ
 $h_{\text{макс}}=3,3 \text{ мм}$, $d_{\text{макс}}=6,0 \text{ мм}$.

маторы изготавливаются 12 типов в соответствии с рис. IV.18 и табл. IV.6 и имеют обозначения от ММТИ-2 до ММТИ-13. Выводы трансформаторов ММТИ=2÷13 делаются в соответствии с табл. IV.7.

Пермалловые трансформаторы изготавливаются 146 типов в соответствии с рис. IV.18 и табл. IV.8 на длительности импульсов 0,05; 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1,6; 4,0; 6,3 и 10 мсек. Трансформаторы имеют обозначение от ММТИ-20 до ММТИ-166 и выполняются 2-, 3- и 4-обмо-

ТАБЛИЦА IV.6

Тип трансформатора	Электрические параметры										
	Задаваемые параметры					Контролируемые параметры					
	$U_{вх},$ в	$t_{н вх},$ мксек	$t_{ф вх},$ мксек	$F_{II},$ кГц	Сопротивление нагрузки		$I_{н},$ мА	$t_{н вх},$ мксек	$t_{ф вх},$ мксек	$t_{с вх},$ мксек	коэффициент трансформации $n \pm 10\%$
на II обм		на III обм									
ММТИ-2	18	5,0		10	300	200	66		0,24	0,35	1:5:5
ММТИ-3	18	1,0		10	30	—	55		0,12	0,2	5:2
ММТИ-4	18	1,5		10	200	200	74		0,12	0,4	1:3:3:3:3
ММТИ-5	18	0,4		10	65	30	154		0,1	0,1	1:1:1
ММТИ-6	18	1,0		10	180	—	55		0,12	0,2	1:1
ММТИ-7	18	1,0		10	180	—	198		0,12	0,3	1:1
ММТИ-8	18	2,0		10	65	—	154		0,13	0,2	2:1
ММТИ-9	18	2,0		5	1000	1000	127		0,13	0,5	1:1:1
ММТИ-10	18	2,0		10	50	20	55		0,25	0,25	3:1:1
ММТИ-11	18	2,0		10	20	—	55		0,25	0,25	3:1
ММТИ-12	18	2,0		5	1000	—	127		0,13	0,5	1:1
ММТИ-13	18	5,0		10	200	200	10		0,15	0,2	1:2:2

ТАБЛИЦА IV.7

Тип трансформатора	Номер схемы	Вариант цоколевки	Номер паза		
			I обмотка	II обмотка	III обмотка
ММТИ-3 ММТИ-8	1	1	5 10	12 2	— —
ММТИ-6 ММТИ-11		2	5 7	8 12	— —
ММТИ-7 ММТИ-12		3	2 11	12 1	— —
ММТИ-2 ММТИ-9	2	1	5 6	7 9	1 3
ММТИ-4 ММТИ-10		2	2 4	5 8	10 12
ММТИ-5 ММТИ-13		3	5 3	12 9	8 7

точными. Электрические параметры трансформаторов указаны в табл. IV.9.

Трансформаторы могут быть использованы на длительности импульсов и напряжения, отличающиеся от табличных значений, при условии, если произведение $\tau_{\text{и вх}} \cdot U_{\text{вх}}$ не будет превышать табличных значений.

Отклонение коэффициента трансформации от табличных значений не превышает $\pm 10\%$. Сопротивление изоляции между обмотками трансформаторов не менее 100 Мом и выдерживает испытательное напряжение постоянного тока, равное 100 в.

Трансформаторы типа ММТЗ — микромодульные запоминающие трансформаторы, предназначены для работы в схемах счетно-решающей аппаратуры в составе микромодулей. Трансформаторы изготавливаются 14 типов: ММТЗ-3÷10, 17, 20÷24 (рис. IV.18).

Входные параметры импульсов тока записи и списывания этих трансформаторов следующие:

амплитуда тока при записи $I_{\text{зап}}$ 100 ма
 амплитуда тока списывания $I_{\text{спис}}$ 100 ма
 длительность импульсов τ на уровне 0,1 не менее 2 мксек
 длительность фронта импульса на уровне 0,1—0,9 $\tau_{\text{ф}}$ 0,3—0,4 мксек
 длительность спада импульса на уровне 0,1—0,9 $\tau_{\text{сп}}$ 0,7—0,8 мксек

Выходные параметры трансформаторов приведены в табл. IV.10.

Трансформаторы типа ММТЗ представляют собой ферритовые кольца с намотанными на них проводами, которые приклеиваются к типовой микроплате и сверху

закрываются защитным полиамидным колпачком. Этот колпачок также приклеивается к микроплате. Концы проводов пропускают через отверстие в микроплате и припаивают к металлизированным печатным проводникам, связанным с пазами микроплат. Затем отверстие заливают эмалью, чтобы под колпачок не проникла влага или эпоксидный компаунд. Сопротивление изоляции между обмотками трансформатора не менее 100 *Мом*. Изоляция выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия напряжение постоянного тока 100 *в*.

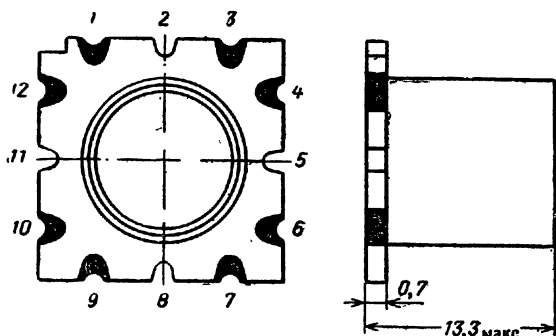


Рис. IV.19. Общий вид трансформаторов типа ММТС-1÷8.

Трансформаторы типа ММТС — микромодульные согласующие трансформаторы низкой частоты. Предназначены для работы в интервале температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$ в схемах низкочастотных трактов. Трансформаторы изготавливают семи типономиналов. Общий вид их представлен на рис. IV.19. Приведенные трансформаторы предназначены для работы в диапазоне частот от 300 до 3 000 *гц* с неравномерностью частотной характеристики не более ± 5 *дб* и коэффициентом нелинейных искажений не более 10%. Электрические параметры трансформаторов даны в табл. IV.11, электрические схемы и цоколевка приведены на рис. IV.20.

Сопротивление изоляции между первичными и вторичными обмотками трансформаторов не менее 1 000 *Мом*. Изоляция выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия напряжение постоянного тока 100 *в*.

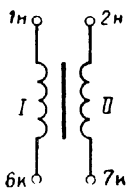
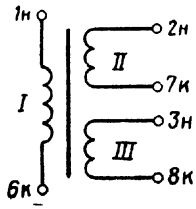
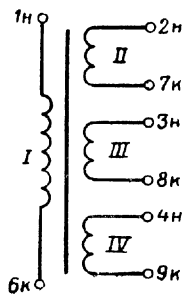
Электрическая схема трансформатора	Коэффициент трансформации	Группы трансформаторов		
		I 0,05 мксек	II 0,1 мксек	III 0,25 мксек
	1 : 1	ММТИ-110	ММТИ-112	ММТИ-111
	2 : 1	ММТИ-114	ММТИ-116	ММТИ-115
	3 : 1	ММТИ-118	ММТИ-120	ММТИ-119
	5 : 1	ММТИ-122	ММТИ-124	ММТИ-123
	1 : 1 : 1	ММТИ-125	ММТИ-128	ММТИ-127
	2 : 1 : 1	ММТИ-130	ММТИ-132	ММТИ-131
	3 : 1 : 1	ММТИ-134	ММТИ-136	ММТИ-135
	5 : 1 : 1	ММТИ-138	ММТИ-140	ММТИ-139
	2 : 2 : 1	ММТИ-142	ММТИ-144	ММТИ-143
	3 : 2 : 1	ММТИ-146	ММТИ-148	ММТИ-147
	5 : 2 : 1	ММТИ-150	ММТИ-152	ММТИ-151
	3 : 3 : 1	ММТИ-154	ММТИ-156	ММТИ-155
	5 : 3 : 1	ММТИ-158	ММТИ-160	ММТИ-159
	5 : 5 : 1	ММТИ-162	ММТИ-164	ММТИ-163
	20 : 10 : 1	—	—	—
	1 : 1 : 1 : 1	—	—	—
	3 : 1 : 1 : 1	—	—	—
	3 : 3 : 1 : 1	—	—	—
	3 : 3 : 3 : 1	—	—	—

ТАБЛИЦА IV.8

по длительности импульса и обозначение трансформатора

IV 0,4 мксек	V 0,6 мксек	VI 1,6 мксек	VII 4,0 мксек	VIII 6,3 мксек	IX 10 мксек
ММТИ-113	ММТИ-24	ММТИ-23	ММТИ-22	ММТИ-21	ММТИ-20
ММТИ-117	ММТИ-29	ММТИ-28	ММТИ-27	ММТИ-26	ММТИ-25
ММТИ-121	ММТИ-34	ММТИ-33	ММТИ-32	ММТИ-31	ММТИ-30
ММТИ-125	ММТИ-39	ММТИ-38	ММТИ-37	ММТИ-36	ММТИ-35
ММТИ-129	ММТИ-44	ММТИ-43	ММТИ-42	ММТИ-41	ММТИ-40
ММТИ-133	ММТИ-49	ММТИ-48	ММТИ-47	ММТИ-46	ММТИ-45
ММТИ-137	ММТИ-54	ММТИ-53	ММТИ-52	ММТИ-51	ММТИ-50
ММТИ-141	ММТИ-59	ММТИ-58	ММТИ-57	ММТИ-56	ММТИ-55
ММТИ-145	ММТИ-64	ММТИ-63	ММТИ-62	ММТИ-61	ММТИ-60
ММТИ-149	ММТИ-69	ММТИ-68	ММТИ-67	ММТИ-66	ММТИ-65
ММТИ-153	ММТИ-74	ММТИ-73	ММТИ-72	ММТИ-71	ММТИ-70
ММТИ-157	ММТИ-79	ММТИ-78	ММТИ-77	ММТИ-76	ММТИ-75
ММТИ-161	ММТИ-84	ММТИ-83	ММТИ-82	ММТИ-81	ММТИ-80
ММТИ-165	ММТИ-89	ММТИ-88	ММТИ-87	ММТИ-86	ММТИ-85
—	ММТИ-166	—	—	—	—
—	ММТИ-94	ММТИ-93	ММТИ-92	ММТИ-91	ММТИ-90
—	ММТИ-99	ММТИ-98	ММТИ-97	ММТИ-96	ММТИ-95
—	ММТИ-104	ММТИ-103	ММТИ-102	ММТИ-101	ММТИ-100
—	ММТИ-109	ММТИ-108	ММТИ-107	ММТИ-106	ММТИ-105

ТАБЛИЦА IV.9

Номер группы	Контролируемые параметры						
	Длительность входного импульса, $\mu\text{сек}$	Амплитуда входного импульса, в	Индуктивность I обмотки, мкГ не менее	Максимальная частота повторения импульсов, кГц	ток намагничивания I обмотки, мА не более	Длительность импульса на нагрузках, мксек не более	Длительность спада импульса на нагрузках, мксек не более
	$\tau_{\text{вх}}$	$U_{\text{вх}}$	L_1	$F_{\text{в}}$	$I_{\text{н}}$	$\tau_{\text{н вх}}$	$\tau_{\text{ф вх}}$
I	0,05	10	17	2000	30		+0,02
II	0,1	10	32	1000	30		+0,02
III	0,25	10	37	1000	30		+0,03
IV	0,4	10	140	500	30		+0,03
V	0,6	10	220 (125)	500 (200)	30 (60)	$\tau_{\text{н вх}} \pm 10\%$	0,15 (0,9)
VI	1,6	15	560	100	30		0,2
VII	4,0	15	1400	50	30		0,3
VIII	6,3	15	2200	10	30		0,3
IX	10,0	15	3500	10	30		0,4

Примечание. Значения, указанные в скобках, для трансформатора ММТИ-166.

Тип трансформатора	Выходные параметры		
	амплитуда э. д. с. сигнала при записи «зап.» не менее	амплитуда э. д. с. сигнала при списывании «спис.» не менее	амплитуда э. д. с. помехи при записи «пом.» не более
ММТЗ-3]	10	10	0,6
ММТЗ-4	9	8	0,5
ММТЗ-5	≥ 10	10	0,6
ММТЗ-6	6	6	1,0
ММТЗ-7	8	7,5	0,6
ММТЗ-8	9	8	0,6
ММТЗ-9	6	9	1,0
ММТЗ-10	9	9	1,7
ММТЗ-17	7	8	0,9
ММТЗ-20	1,1	1,1	0,12
ММТЗ-21	11	10	0,75
ММТЗ-22	10	9,5	0,4
ММТЗ-23	10,5	8	0,6
ММТЗ-24	7,5	7,5	0,4

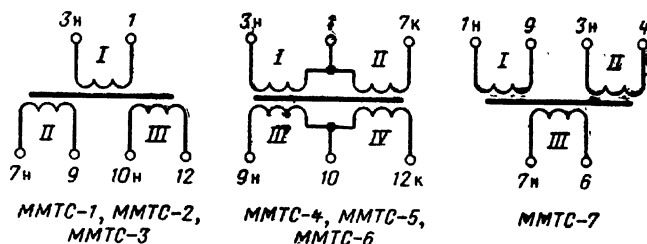


Рис. IV.20. Электрические схемы трансформаторов ММТС.

IV.6. КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ

Кварцевые резонаторы предназначены для стабилизации электрических колебаний с частотой от 5 до 90 Мгц в диапазоне температур от -60 до $+75^{\circ}\text{C}$. Общий вид резонаторов приведен на рис. IV.21.

По максимально-допустимому относительному изменению частоты (точности настройки) в интервале рабо-

ТАБЛИЦА IV.11

Тип трансформатора	Входное сопротивление $R_{вх}, \text{ом}$	Выходное сопротивление $R_{вых}, \text{ом}$	Напряжение на обмотке $U_1, \text{в (эфф.)}$	Ток $I_1, \text{ма}$	Коэффициент трансформации		Индуктивность I обмотки $L_1, \text{гн}$ не менее	Индуктивность рассеяния $L_s, \text{гн}$ не более	Сопротивление обмотки постоянному току при $+20^\circ \text{C}, \text{ом}$	
					номинальное значение	допустимое отклонение			I обмотка	II обмотка
ММТС-1	50	500×2	0,35	—	6,33	$\pm 0,63$	0,01	0,004	16	270×2
ММТС-2	600	500×2	0,35	—	1,82	$\pm 0,18$	0,135	0,048	160	264×2
ММТС-3	2000	500×2	0,35	—	1,0	$\pm 0,1$	0,35	0,16	420	366×2
ММТС-4	3000×2	500×2	1,41	1	0,52	$\pm 0,05$	1,4	0,5	690×2	342×2
ММТС-5	3000×2	100×2	1,41	1	0,169	$\pm 0,017$	1,8	0,5	600×2	66×2
ММТС-6	500×2	100×2	3,54	4	0,4	$\pm 0,04$	0,18	0,08	106×2	40×2
ММТС-7	500×2	600	2,5	4	1,41	$\pm 0,14$	0,09	0,04	152×2	175

чих температур резонаторы подразделяются на 4 класса:

обозначение класса точности	Т	У	Ф	Х
изменение частоты $\left(\frac{\Delta f}{f} \times 10^{-6}\right)$. .	± 50	± 75	± 100	± 150

По допустимому относительному отклонению частоты (точность настройки) от номинального значения при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ резонаторы подразделяются на группы:

обозначение группы	О	П	Р	С
относительное отклонение частоты от номинала $\times 10^{-6}$	± 15	± 20	± 20	± 30

Предельное значение динамического сопротивления резонаторов в диапазоне частот от 5 до 6 Мгц не превышает 150 ом, от 6 до 60 Мгц — 100 ом, от 60 до 90 Мгц —

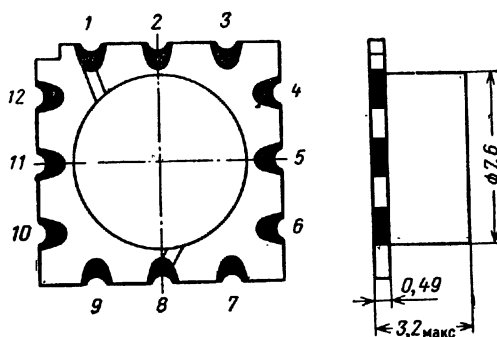


Рис. IV.21. Общий вид кварцевых резонаторов.

200 ом. Статическая емкость C_0 не более 7 пф. Допустимая мощность рассеяния резонаторов: 4 мвт для резонаторов с частотами от 50 кгц до 21 Мгц и 2 Мвт для резонаторов с частотами свыше 21 Мгц.

IV.7. МИКРОДИОДЫ

Микродиоды ДММЗВП изготавливаются в круглом металlostеклянном корпусе и монтируются на плате с прямоугольным отверстием по диагонали платы (рис. IV.22). Микродиоды типа 2ДМ и 2СМ (стабилизаторы) изготавливаются в таблеточных металlostеклянных

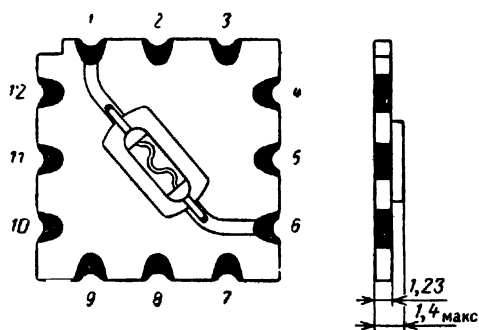


Рис. IV.22. Общий вид диодов ДММЗВП.

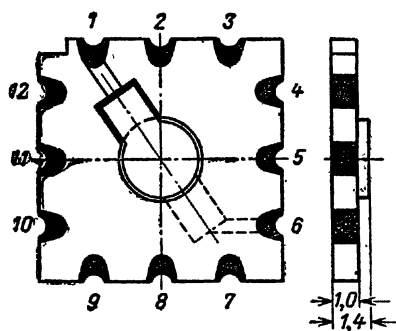


Рис. IV.23. Общий вид диодов 2ДМ и 2СМ.

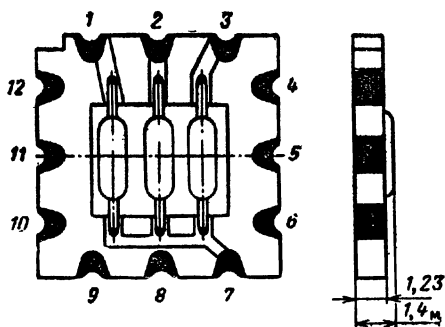


Рис. IV.24. Общий вид диодов 3ДММЗ.

ных круглых корпусах и монтируются на плате с круглым отверстием в центре платы (рис. IV.23). Подключение выводов микродиодов производится: положительный вывод к пазу 1 микроплаты, отрицательный либо к пазу 6, либо к пазу 4. В некоторых случаях положительный вывод подключают к пазу 2, отрицательный к пазу 5.

В случае установки на одной микроплате 3 штук ДММЗВП (рис. IV.24) микроэлемент называется полиэлементом и обозначается 1 ДМ505А (3ДММЗ). Его цо-

ТАБЛИЦА IV.12

Параметр	Диоды					
	ДММЗВП	2ДМ101А	2ДМ502А	2ДМ502В	2ДМ602В	2ДМ602Г
Максимально-допустимое обратное напряжение любой формы и периодичности, в	15	30	30	30	100	100
Максимальное импульсное прямое падение напряжения, в:						
при импульсе прямого тока 20 ма	3,5	—	—	—	—	—
50 ма	—	—	3,5	2,5	3,5	2,5
Постоянное прямое напряжение, в:						
при прямом токе 5 ма	1	—	—	—	—	—
10 ма	—	—	1	—	1	—
50 ма	—	—	—	1	—	1
100 ма	—	1	—	—	—	—
Постоянный обратный ток при максимально-допустимом обратном напряжении, мка	100	5	5	5	5	5
Время восстановления обратного сопротивления, мксек	0,1	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Импульс прямого тока при длительности импульса 10 мксек, ма	50	200	200	200	200	200
Постоянный или средний выпрямленный ток при +80° С, ма	—	10	10	10	10	10
Постоянный или средний выпрямленный ток в интервале температур —60÷+25° С, ма	12	20	20	20	20	20

Стабилитроны типа 2СМ

Параметр	180 А	190 А	210 А	211 А	213 А	133 А	139 А	147 А	156 Б	168 Б
Напряжение стабилизации, в:	7—8,5	8—9,5	9—10,5	10—12	11,5—12	—	—	—	—	—
при токе 5 <i>ма</i>	—	—	—	—	—	3—3,7	3,5—4,3	4,1—5,2	5,0—6,4	6,0—7,5
при токе 10 <i>ма</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Динамическое сопротивление, Ом:	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
при $I_{\text{стаб}}=1 \text{ ма}$	15	22	32	36	44	—	—	—	—	—
при $I_{\text{стаб}}=5 \text{ ма}$	8	12	15	18	22	—	—	—	—	—
при $I_{\text{стаб}}=10 \text{ ма}$	—	—	—	—	—	65	60	56	45	15
Предельно-допустимая мощность в интервале температур —60 ÷ +50 °С, <i>вт</i>	125	125	125	125	125	—	—	—	—	—
Предельно-допустимая мощность при +120 °С, <i>вт</i>	70	70	70	70	70	—	—	—	—	—
Предельно-допустимый ток стабилизации в интервале температур —60 ÷ +50 °С, <i>ма</i>	15	13	11	10	9	30	26	21	18	15
Предельно-допустимый ток стабилизации при +120 °С, <i>ма</i>	8	7,5	6,5	6	5	21	18	15	12	10
Минимальный ток стабилизации в интервале температур от —60 до +120 °С, <i>ма</i>	—	—	—	—	—	3	3	3	3	3

колевка: положительные выводы — 1, 2, 3 пазы микроплат, отрицательные выводы объединены и выведены к пазу 7.

Микродиоды ДММЗВП и 1ДМ505А допускают эксплуатацию их в диапазоне температур от -60 до $+73^{\circ}\text{C}$, а микродиоды типа 2ДМ и 2СМ — в диапазоне температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$ и до $+120^{\circ}\text{C}$ соответственно. Электрические параметры микродиодов при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ приведены в табл. IV.12, а стабилитронов — в табл. IV.13.

IV.8. МИКРОТРАНЗИСТОРЫ

Все микромодульные транзисторы изготавливаются в специализированном корпусе и устанавливаются на специальной микроплате в соответствии с рис. IV.25. Габаритные размеры транзистора без микроплат: диаметр 7,6 мм и высота 2,5 мм. Металлостеклянная кон-

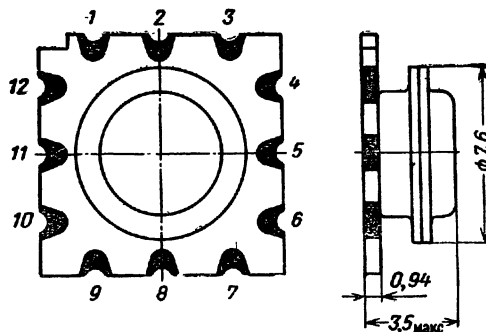


Рис. IV.25. Общий вид микротранзисторов.

струкция транзистора состоит из коваровой «ножки», имеющей два металлостеклянных впая для вывода электродов транзистора и медного колпачка. Герметизация корпусов микротранзисторов осуществляется «холодной» сваркой. При конструировании микромодульных транзисторов особое внимание уделено снижению высоты корпуса, так как этот размер определяет в значительной мере высоту модуля. Для сплавных германиевых микротранзисторов, где обычно кристаллодержатель располагают вертикально, пришлось пойти на усложнение кон-

струкции и применить горизонтальное расположение кристаллодержателя. При изготовлении микромодульного транзистора прибор в металлостеклянном корпусе монтируется на керамической плате. Для предотвращения растрескивания стекла при монтаже на плате выводы микротранзисторов сделаны двухзвенные. Конструкция вывода представлена на рис. IV.26. Более толстая часть вывода (2) проходит через впай, а изгиб вывода при монтаже на плату производится в тонкой, более мягкой части вывода (1).

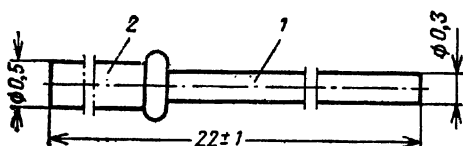


Рис. IV.26. Конструкция вывода транзистора:

1 — никель; 2 — ковар.

Германиевые микротранзисторы ТМ-2А—ТМ-2Д типа *p-n-p* изготавливаются из электронного германия. Для получения лучших импульсных свойств транзистора диаметр коллекторного электрода уменьшен до 0,35 мм, что позволяет уменьшить емкость коллектора до 20 пф и менее. Использование тонких германиевых пластин (40—50 мкм), малых навесок электродов и точное поддержание температуры печи при впаивании примеси дает возможность получить предельные частоты усиления по току до 20 Мгц. Микротранзисторы рассчитаны на работу при температуре от -60 до $+73^{\circ}\text{C}$. Отличительной чертой всех транзисторов сплавного типа является высокое пробивное напряжение эмиттер—база, оно обычно равно или близко к напряжению коллектор—база.

Германиевые транзисторы ТМ-3А—ТМ-3Д типа *n-p-n* изготавливаются из дырочного германия методом сплавления. В качестве электродного материала используется сплав олово—сурьма. Использование шариковой технологии обеспечивает получение предельных частот усиления по току до 10 Мгц.

Транзисторы предназначены для использования в широком классе радиотехнических схем, требующих полярность прибора типа *n-p-n*. Микромодульный транзи-

стор ТМ-3 является электрическим аналогом приборов ТМ-2 и ТМ-5, но с обратной полярностью.

Германиевые микротранзисторы ТМ-5А—ТМ-5Д предназначены для работы в низкочастотных каскадах радиоэлектронных схем. Транзисторы сплавные типа *p-n-p*.

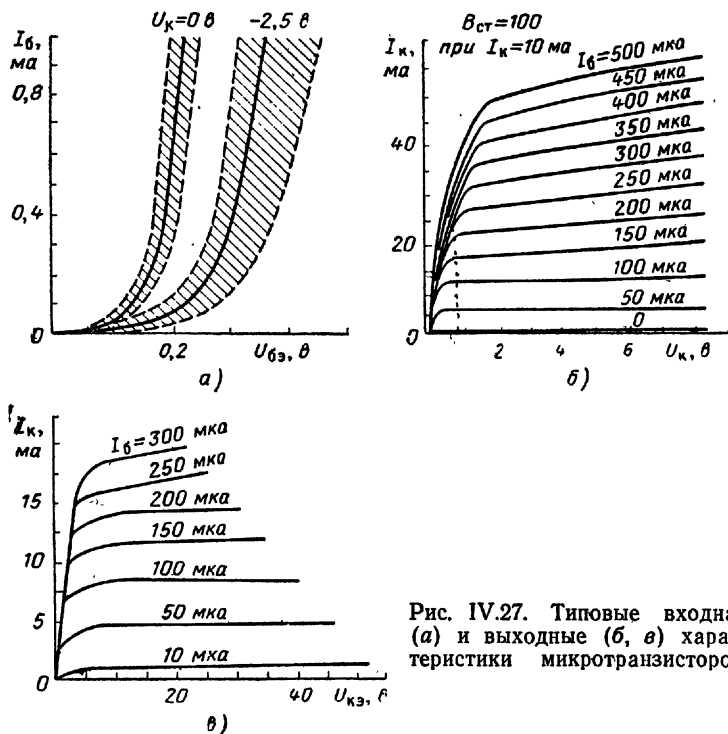


Рис. IV.27. Типовые входная (а) и выходные (б, в) характеристики микротранзисторов.

Предельная частота усиления по току находится в пределах 1—5 Мгц. Транзисторы обладают хорошими усилительными свойствами в диапазоне температур $-60 \div +73^\circ \text{C}$.

Микротранзисторы ТМ-10—ТМ-10Ж, кремниевые, диффузионные, типа *p-n-p*, имеют частоты генерирования 30—60 Мгц. Транзисторы рассчитаны на работы в диапазоне температур $-60 \div +120^\circ \text{C}$.

Микротранзисторы ТМ-11, ТМ-11А, ТМ-11Б, кремневые, сплавные, типа *p-n-p*, изготавливаются из электронного кремния. В качестве электродного материала

Тип транс- зистора	Параметры									
	B_{CT}	$f_a, \text{МГц}$	$U_{об}, \text{в}$	$U_{кз}, \text{в}$	$U_{кк}, \text{в}$	$I_{к'}, \text{ма}$	$I_{кк'}, \text{ма}$	$I_{кз}, \text{мкка}$	$I_{к0}, \text{мкка}$	$P_{к}, \text{Мвт}$
ТМ-2А	20—60	3	10	15	0,15	50	100	20	—	75
ТМ-2Б	50—150	3	10	15	0,15	50	100	20	—	75
ТМ-2В	30—90	9	10	10	0,15	50	100	15	—	75
ТМ-2Г	70—210	9	10	10	0,15	50	100	15	—	75
ТМ-2Д	80—250	20	10	10	0,15	50	100	15	—	75
ТМ-3А	18—55	1	10	15	0,5	50	100	20	—	75
ТМ-3Б	20—60	5	10	15	0,5	50	100	20	—	75
ТМ-3В	40—20	5	10	15	0,5	50	100	20	—	75
ТМ-3Г	40—160	10	10	15	0,5	50	100	20	—	75
ТМ-3Д	20—75	60	1,5	15	0,5	40	100	15	—	75
ТМ-4А	50—120	60	1,5	15	0,5	40	100	15	—	75
ТМ-4Б	90—200	60	1,5	15	0,5	40	100	15	—	75
ТМ-4Г	20—75	120	1,5	15	0,5	40	100	15	—	75
ТМ-4Д	50—120	120	1,5	15	0,5	40	100	15	—	75
ТМ-4Е	90—200	120	1,5	15	0,5	40	100	15	—	75
ТМ-5А	20—150	1	10	15	0,75	70	150	20	—	75
ТМ-5Б	35—80	1	10	15	0,75	70	150	20	—	75
ТМ-5В	60—180	2	10	15	0,75	70	150	20	—	75
ТМ-5Г	110—250	3	10	15	0,75	70	150	20	—	75
ТМ-5Д	20—60	1	10	25	0,75	70	150	25	—	75
1ТМ305	25—80	200	10	15	0,5	40	100	10	—	75
1ТМ305А	60—180	240	1,5	15	0,5	40	100	10	—	75
1ТМ305Б	40—120	240	1,5	15	0,5	40	100	10	—	75
1ТМ115А	20—60	1	50	50	0,2	—	100	—	50	50
1ТМ115Б	50—150	1	50	70	0,2	—	100	—	50	50
1ТМ115Г	20—60	1	50	70	0,2	—	100	—	50	50
1ТМ115Г	50—160	1	50	70	0,1	—	100	10	50	50

Тип транзистора	Параметры									
	B_{CT}	$f_a, \text{ МГц}$	$U_{\Phi 6}, \text{ в}$	$U_{K\Phi}, \text{ в}$	$U_{K\Phi}, \text{ в}$	$I_{K\Phi}, \text{ ма}$	$I_{K\Phi}, \text{ ма}$	$I_{K\Phi}, \text{ ма}$	$I_{K\Phi}, \text{ ма}$	$P_{K}, \text{ Мвт}$
ТМ-10	14-60	30	3	20	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10А	28-120	30	3	20	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10Б	7-32	30	3	30	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10В	14-60	30	3	30	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10Г	7-32	60	3	20	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10Д	14-60	60	3	20	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10Е	28-120	60	3	20	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-10Ж	55	60	3	20	2,5	10	100	—	15	150
ТМ-11	7-40	0,1	10	30	0,5	50	60	20	20	150
ТМ-11А	10-60	0,5	10	15	0,5	50	60	20	20	150
ТМ-11Б	19-160	0,5	10	15	0,5	50	60	20	20	150
2ТМ103А	10-50	3	1,5	120	3,3	15	60	20	7,5	75
2ТМ103Б	18-90	3	1,5	120	3,3	15	60	20	7,5	75
2ТМ103В	30-150	3	1,5	80	3,3	15	60	20	7,5	75
2ТМ103Г	10-50	3	3	80	3,3	15	60	20	7,5	75
2ТМ103Д	18-90	3	3	80	3,3	15	60	20	7,5	75

Здесь: B_{CT} — коэффициент усиления по току; f_a — предельная частота усиления по току; $U_{\Phi 6}$ — максимально-допустимое напряжение между эмиттером и базой; $U_{K\Phi}$ — максимально-допустимое напряжение между коллектором и эмиттером; $U_{K\Phi}$ — напряжение насыщения; $I_{K\Phi}$ — максимально-допустимый ток коллектора; $I_{K\Phi}$ — ток коллектора импульсный при длительности импульса 10 мксек; $I_{K\Phi}$ — ток коллектора закрытого транзистора; $I_{K\Phi}$ — обратный ток коллектора; P_K — максимально-допустимая мощность рассеяния на коллекторе.

Наименование	Условное обозначение	Основные параметры
Микроплаты	—	Габаритные размеры: $9,6 \pm 0,1 \times 9,6 \pm 0,1$ мм без лужения пазов, $9,85_{\text{макс}} \times 9,85_{\text{макс}}$ с лужеными пазами
Резисторы композиционные пленочные	СЗ-4 (СКПМ)	$R = 10 \text{ ом} \div 3,3 \text{ Мом}$, $U_p = 120 \text{ в}$, $\text{TKC} = -16 \cdot 10^{-4} \div +2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$
Резисторы композиционные ниточные	СКНМ	$R = 100 \text{ ом} \div 3,3 \text{ Мом}$, $U_p = 30 - 80 \text{ в}$, $\text{TKC} = \pm 10 \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$
Резисторы стганатные ниточные	ССНМ	$R = 5,6 \text{ ом} \div 5,1 \text{ ком}$, $U_p = \sqrt{P_{\text{в}} \cdot R_{\text{в}}}$, $\text{TKC} = \pm 10 \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$
Резисторы постоянные проволочные	СБ-6	$R = 10 \text{ ом} \div 10 \text{ ком}$, $U_p = 120 \text{ в}$, $\text{TKC} = (2 \div 2,5) \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$
Терморезисторы	СТЗ-26 СТ2-26 СТЗ-24	$R = 100 \div 680 \text{ ом}$, $P = 10 \div 20 \text{ мвт}$, $R = 1 \div 100 \text{ ком}$, $P = 10 \div 20 \text{ мвт}$, $R = 680 \text{ ом}$, 1; 1,5; 2,2; 3,3 ком, $P = 0,2 \text{ мвт}$, $\text{TKC} = (-2,4 \div -5) \cdot 10^{-2} \text{ 1/град}$
Конденсаторы керамические	КМК-1 КМК-2,3	$C = 4,7 \div 100 \text{ пф}$, $U_p = 160 \text{ в}$ $C = 16 \text{ пф} \div 0,047 \text{ мкф}$, $U_p = 100$; 70; 50; 35 в
Конденсаторы оксидно-полупроводниковые	К53-5А (КОПМ)	$C = 0,047 \div 10 \text{ мкф}$, $U_p = 6 \div 30 \text{ в}$ $I_{\text{гг}} \leq 3 \text{ мка}$, $\text{tg} \delta \leq 0,06$ (на 50 гц)

Наименование	Условное обозначение	Основные параметры
Конденсаторы металлоплёночные	K74П-4 (КМПИМ)	$C = 1000, 1500, 2200, 3300, 4700, 6800 \text{ пф}, 0,01 \text{ мкф},$ $U_p = 160 \text{ в}, \text{tg} \delta \leq 0,01$
Конденсаторы подстроечные	ММКТ-3/20	$C = 3 \div 20 \text{ пф}, U_p = 80 \text{ в}, R_{\text{из}} = 1000 \text{ Ом},$ $\text{tg} \delta \leq 0,03.$
Катушки индуктивности постоянные	ИФМ	$L = 1 \div 2500 \text{ мкГн}, Q = 20 \div 80,$ $\text{ТКИ} = (1 \div 7,5) \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}$
Катушки индуктивности постоянные, переменные, связанные	МКИ МКПИ МКИС	$L = 1 \div 2500 \text{ мкГн}, Q = 50 \div 90 \text{ для связанных}$ $Q = 45 \div 80 \text{ ТКИ} = \pm 3 \cdot 10^{-4} \text{ 1/град}$
Трансформаторы импульсные (ферритовые)	ММТИ-2÷13	$\tau_{\text{н}} = 0,4 \div 5 \text{ мксек}, U_{\text{из}} = 10 \div 18 \text{ в}, F_{\text{н}} = 5 \div 10 \text{ кГц}$
Трансформаторы импульсные (пермаллоевые)	ММТИ-20÷166	$\tau_{\text{н}} = 0,1 \div 10 \text{ мксек}, U_{\text{из}} = 10-15 \text{ в},$ $F_{\text{н}} = 10 \div 2000 \text{ кГц}$
Трансформаторы запоминающие	ММТЗ-3÷10, 17, 20÷24	$I_{\text{зап}} = 100 \text{ мА}, I_{\text{спя}} = 100 \text{ мА}, \tau_{\text{н}} = 2 \text{ мксек},$ $\tau_{\text{ф}} = 0,3 \div 0,4 \text{ мксек}$
Трансформаторы согласующие	ММТС-1÷7	$R_{\text{из}} = 50, 600, 2000 \text{ Ом}, 3000 \text{ Ом} \times 2; 500 \text{ Ом} \times 2,$ $R_{\text{вх}} = 500 \text{ Ом} \times 2; 100 \text{ Ом} \times 2; 600 \text{ Ом},$ $U = 0,35-3,54 \text{ в}$
Кварцевые резонаторы	КР	$f = 3-100 \text{ МГц}$
Диоды кремниевые	2ДМ101 2ДМ502	$U_{\text{пр}} \leq 1 \text{ в при } 10, 50, 100 \text{ мА},$ $I_{\text{об}} \leq 5 \text{ мА при } 30, 100 \text{ в}.$

Наименование	Условное обозначение	Основные параметры
Диоды германиевые	ДММЗВП	$U_{пр} \leq 1$ в при 5 ма, $I_{обр} \leq 100$ мка при 15 в
Стабилитроны кремниевые	2СМ180-2СМ213	$U_{ст} = 7-14$ в при 5 ма
Транзисторы <i>p-n-p</i> германиевые	ТМ-2-3	$U_{кз} = 10-15$ в, $I_{к} = 50$ ма, $f_{\alpha} = 3-20$ Мгц, $B_{ст} = 20-250$
Транзисторы <i>p-n-p</i> германиевые	ТМ-4-4	$U_{к} = 15$ в, $I_{к} = 40$ ма, $ \beta _{20 \text{ Мгц}} = 2,5; 4$, $B_{ст} = 20 \div 200$
Транзисторы <i>p-n-p</i> германиевые	ТМ-5-3	$U_{к} = 15$ в, 25 в, $I_{к} = 70$ ма, $f_{\alpha} = 1-3$ Мгц, $B_{ст} = 20-250$
Транзисторы <i>p-n-p</i> германиевые	1ТМ305	$U_{к} = 15$ в, $I_{к} = 40$ ма, $ \beta _{20 \text{ Мгц}} = 7; 8$, $B_{ст} = 25-180$
Транзисторы <i>p-n-p</i> германиевые	1ТМ115	$U_{к} = 50-70$ в, $I_{кз} = 100$ ма, $f_{\alpha} = 1$ Мгц, $B_{ст} = 20-150$
Транзисторы <i>n-p-n</i> германиевые	ТМ-3-3	$U_{к} = 15$ в, $I_{к} = 50$ ма, $f_{\alpha} = 10$ Мгц, $B_{ст} = 18-160$
Транзисторы <i>n-p-n</i> кремниевые	ТМ-11	$U_{к} = 15-30$ в, $I_{к} = 50$ ма, $f_{\alpha} = 0,1-0,5$ Мгц, $B_{ст} = 7-160$
Транзисторы <i>p-n-p</i> кремниевые	ТМ-10	$U_{к} = 20-30$ в, $I_{к} = 10$ ма, $ \beta _{20 \text{ Мгц}} = 1$, $B_{ст} = 7-120$
Транзисторы <i>n-p-n</i> кремниевые	2ТМ103	$U_{к} = 80-120$ в, $I_{к} = 15$ ма, $f_{\alpha} = 3$ Мгц, $B_{ст} = 10-150$

используется алюминий. Микротранзисторы низкочастотные предназначены для работы в диапазоне температуры $-60 \div +120^\circ \text{C}$.

Микротранзисторы 1ТМ115А ÷ 1ТМ115Г, германиевые, сплавные, типа *p-n-p*, низкочастотные, предназначены для высоковольтных цепей. Максимальное напряжение коллектор — база 50—70 в. Транзисторы рассчитаны на работу в диапазоне температур $-60 \div +73^\circ \text{C}$.

Микротранзисторы 2ТМ103А ÷ 2ТМ103Д, кремниевые, диффузионные, типа *n-p-n*, предназначены для работы в высоковольтных цепях. Максимальное напряжение коллектор — база 80—120 в. Транзисторы рассчитаны на работу в диапазоне температур $-60 \div +120^\circ \text{C}$.

Микротранзисторы ТМ-4А ÷ ТМ-4 и 1ТМ305А ÷ 1ТМ305В изготавливаются по сплавно-диффузионной технологии, которая в настоящее время широко используется в производстве высокочастотных германиевых транзисторов типа *p-n-p*. Цоколевка для всех микротранзисторов — 1-5-8 (база — эмиттер — коллектор). Электрические параметры микротранзисторов при температуре $+20^\circ \text{C}$ приведены в табл. IV.14.

Некоторые типовые характеристики микротранзисторов при температуре $+20^\circ \text{C}$ представлены на рис. IV.27.

Перечень микроэлементов, выпускаемых промышленностью, и их основные параметры приведены в табл. IV.15.

IV.9. ЭЛЕМЕНТЫ В МИКРОМОДУЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ

При разработке конструкции микромодулей и микроэлементов учитывалось, что не все типы радиодеталей, необходимых для создания радиоэлектронной аппаратуры, могут быть размещены на микроплатах. Поэтому одновременно с конструкцией микромодулей и микроэлементов была определена конструкция элементов в микромодульном исполнении. Элементы в микромодульном исполнении являются малогабаритными радиоэлементами и по своей конструкции изготавливаются с габаритными размерами, равными или кратными размерам микромодуля с учетом необходимого зазора между микромодулями (11, 23 и 35 мм). Высота элементов в микромодульном исполнении не превышает

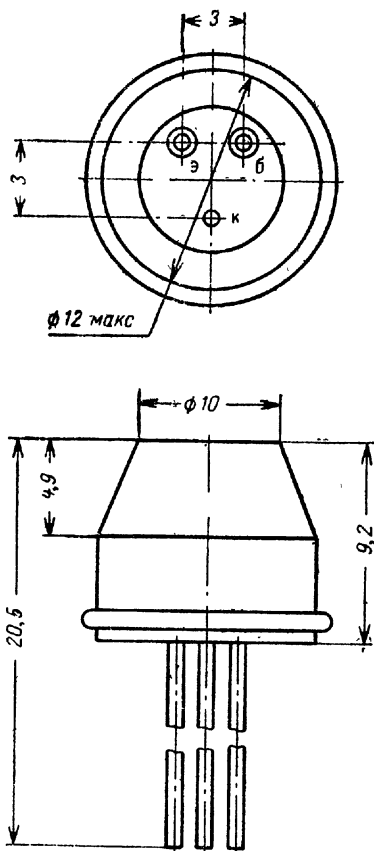


Рис. IV.28. Общий вид транзисторов 1Т403.

максимальной высоты микромодулей. Полярные элементы имеют ключ для ориентирования выводов и установки элементов на печатной плате. Выводы элементов—круглые, диаметром 0,3—0,5 мм, луженые или серебряные—размещены на элементах на расстоянии 3 мм друг от друга. Конструкция элементов обеспечивает невозможность проникновения лака внутрь элемента при лакировке микроблока.

Транзисторы 1Т403А ÷ 1Т403И, германиевые сплавные, конструктивно выполняются в соответствии с рис. IV.28. Электрические параметры транзисторов 1Т403А ÷ 1Т403И при +20°С приведены в табл. IV.16.

Максимально допустимая мощность, рассеиваемая транзистором, вычисляется по формуле

$$P_{\text{к макс}} = \frac{85^\circ \text{С} - t^\circ \text{С}}{R_t},$$

где 85°С — максимальная температура перехода;

$t^\circ \text{С}$ — температура окружающей среды;

R_t — тепловое сопротивление.

Диапазон рабочих температур для транзисторов типа 1Т403 от —60 до +70°С.

Резисторы СПЗ-6 СПЗ-6А, СПЗ-6Б, непроволочные, с поверхностным композиционным проводящим слоем, предназначены для работы в интервале температур —60 ÷ +100°С в цепях постоянного, переменного и им-

ТАБЛИЦА IV.16

Параметр	Транзисторы 1Т403							
	А	В	В	Г	Д	Е	Ж	И
Коэффициент усиления по току при $I_k=0,1$ а, $U_k=5$ в	20—60	50—150	20—60	50—150	50—150	—	20—60	50—150
Обратный ток коллектора при максимальном допустимом напряжении на коллекторе, $мкА$	50	50	50	50	50	50	70	70
Максимально-допустимое напряжение между коллектором и базой, в	45	45	60	60	60	60	80	80
Максимально-допустимое напряжение между коллектором и эмиттером, в	30	30	45	45	45	45	60	60
Максимально-допустимое напряжение между эмиттером и базой, в	20	20	20	20	20	20	20	20
Предельная частота, $кГц$	8	8	8	6	6	8	8	8
Тепловое сопротивление, $град/вт$: с тепловодом,	15	15	12	15	15	12	15	15
без тепловода	100	100	100	100	100	100	100	100

пульсного тока. Резисторы изготавливают двух видов конструкций СПЗ-6: СПЗ-6А — прямой вариант (рис. IV.29) и СПЗ-6Б — угловой вариант. Резисторы имеют

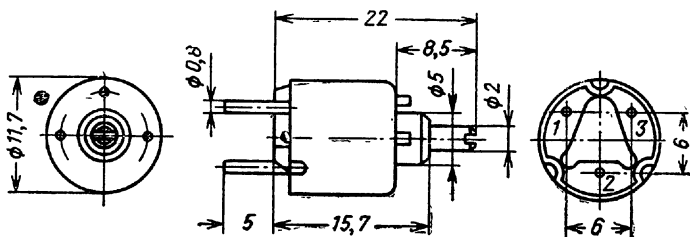


Рис. IV.29. Общий вид резисторов СПЗ-6А.

линейную зависимость изменения сопротивления от угла поворота подвижной системы (рис. IV.30).

Основные электрические параметры резисторов: номинальная мощность рассеяния 125 мвт, предел номи-

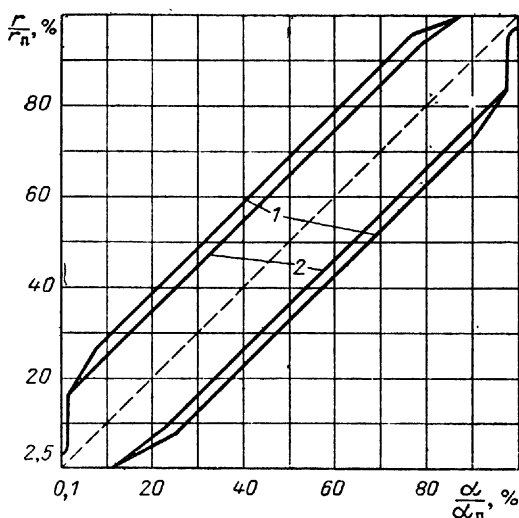


Рис. IV.30. Зависимость изменения сопротивления от угла поворота резисторов СПЗ-6:

1 — для углового варианта; 2 — для прямого варианта; r — сопротивление при данном угле поворота подвижной системы; r_n — полное фактическое сопротивление; α — угол поворота подвижной системы; α_n — полный угол поворота подвижной системы.

нальных сопротивлений от 1 *ком* до 1 *Мом* (соответствуют ряду 1,0; 1,3; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8), предельное рабочее напряжение 160 *в* постоянного или переменного (эффективное значение), испытательное напряжение электрической прочности изоляции 500 *в*, предельное импульсное напряжение 200 *в* (амплитудное значение).

Резисторы сопротивлением до 150 *ком* изготавливают с допустимыми отклонениями от номинального значе-

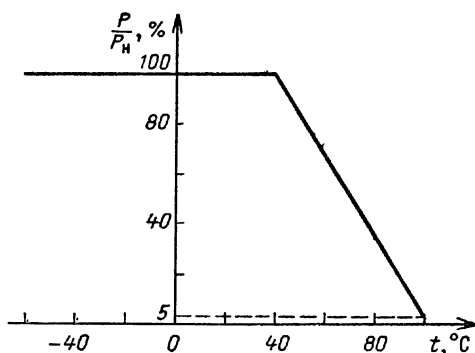


Рис. IV.31. Зависимость допустимой мощности рассеяния резисторов СПЗ-6 от температуры.

ния $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, а свыше 150 *ком* $\pm 20\%$ и $\pm 30\%$. Зависимость допустимой мощности рассеяния от температуры окружающей среды показана на рис. IV.31.

Электродвижущая сила шумов резисторов, измеренная между крайними выводами, при напряжении, соответствующем номинальной мощности, не превышает 10 *мкв* у резисторов от 10 до 150 *ком*, 15 *мкв* у резисторов свыше 150 *ком*.

Изоляция резисторов выдерживает без электрического пробоя и поверхностного перекрытия напряжение 500 *в* постоянного тока, приложенного между корпусом и соединенными вместе контактными выводами. Сопротивление изоляции между корпусом и соединенными вместе контактными выводами не менее 10 000 *Мом*.

Температурный коэффициент сопротивления в интервале температур от -60 до $+100^\circ\text{C}$ не превышает $\pm 10 \cdot 10^{-4}$ для резисторов до 68 *ком* и $\pm 20 \cdot 10^{-4}$ для резисторов более 68 *ком*.

Резисторы СП5-6А, СП5-6Б, проволочные, переменного сопротивления, предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов при рабочем напряжении до 160 в. Конструктивно резисторы изготавливают двух вариантов: прямого — СП5-6А и углового — СПК-6Б (рис. IV.32).

Номинальная мощность рассеяния резисторов 500 мвт. Предельное рабочее напряжение не превышает

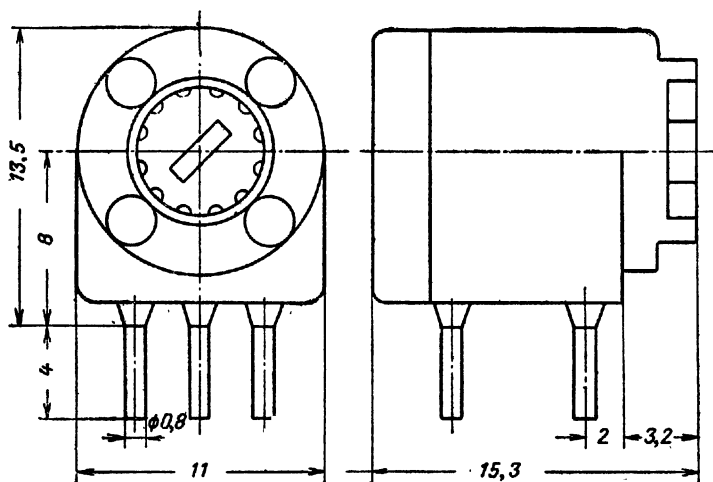


Рис. IV.32. Общий вид резисторов СП5-6Б.

160 в постоянного или эффективного значения переменного тока частотой 50 гц. Номинальные величины сопротивлений резисторов от 100 ом до 100 ком имеют промежуточные значения: 100, 200, 470, 1 000, 2 200, 4 700, 10 000, 22 000, 47 000, 100 000 ом. Допустимые отклонения $\pm 10\%$. Допустимые электрические нагрузки резисторов в диапазоне температур $-60 \div +125^\circ \text{C}$ определяются по графику, изображенному на рис. IV.33.

Изоляция резисторов в нормальных условиях выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия постоянное напряжение 350 в или 220 в эффективного значения переменного тока частотой 50 гц. Сопротивление изоляции не менее 10^3 Мом. Момент вращения подвижной системы резисторов от 10 до 300 гс·см.

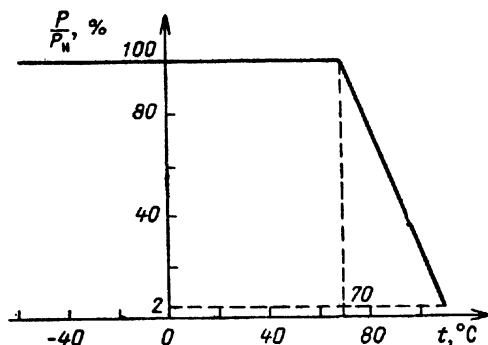


Рис. IV.33. Зависимость допустимой мощности рассеяния резисторов СП5-6 от температуры.

Конденсаторы К53-6А и КОПП, оксидно-полупроводниковые, постоянной емкости, для печатного монтажа, предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов в интервале температур от -60 до $+125^\circ\text{C}$ для К53-6А и от -60 до $+85^\circ\text{C}$ для КОПП. По конструкции конденсаторы К53-6А и КОПП идентичны. Общий вид конденсаторов на номинальные рабочие напряжения 6, 15, 30 в постоянного тока показан на рис. IV.34.

Номинальные значения емкости конденсаторов 4,7; 6,8; 10; 15; 22; 33; 47; 68; 100 мкф. Допустимые отклонения емкости от номинальных значений составляют $+50\%$, -20% . Тангенс угла потерь: конденсаторов КОПП не более 20% на частоте 50 гц и 100% на частоте 1000 гц, для конденсаторов К53-6А 6—8% на частоте 50 гц и 50—55% на частоте 1000 гц. Ток утечки конденсаторов КОПП 5 мка и К53-6А $2 \div 7$ мка. При температуре $+85^\circ\text{C}$ изменение емкости конденсаторов КОПП не превышает $+40\%$, а ток утечки не превышает 50 мка.

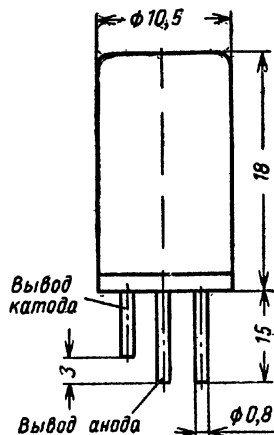


Рис. IV.34. Общий вид конденсаторов К53-6А (КОПП).

При температуре $+125^{\circ}\text{C}$ изменение емкости конденсаторов К53-6А не превышает $+15\%$, а ток утечки не превышает значения, вычисленного по формуле $I_{\text{ут}} = KCU$, где $I_{\text{ут}}$ — ток утечки, мка; $K=0,34$; C — номинальное значение емкости, мкф; U — 65% номинального напряжения, в.

Конденсаторы К73П-3, металлопленочные, постоянной емкости, для печатного монтажа, предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего

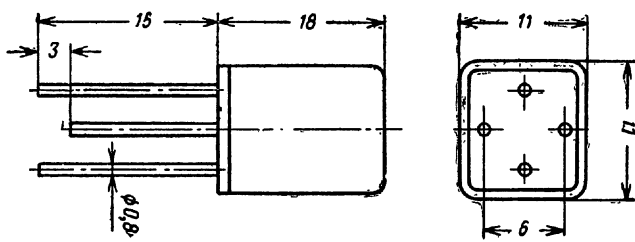


Рис. IV.35. Общий вид конденсаторов К73П-3.

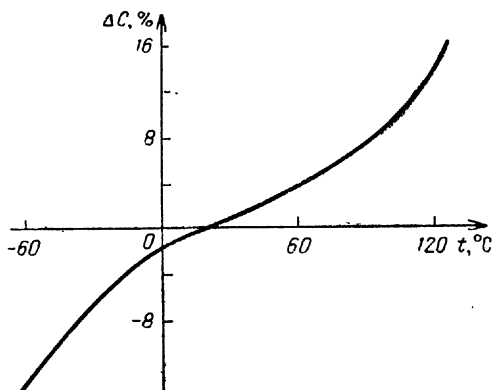


Рис. IV.36. Зависимость емкости конденсаторов К73П-3 от температуры:

$$\Delta C = \frac{C_t - C_{20^{\circ}\text{C}}}{C_{20^{\circ}\text{C}}}.$$

щего токов в интервале температур от -60 до $+125^{\circ}\text{C}$. Общий вид конденсаторов представлен на рис. IV.35. Номинальные значения емкости конденсаторов К73П-3 0,05;

0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1,0 *мкф*; допускаемые отклонения действительной величины емкости от номинальной $\pm 10\%$ и $\pm 20\%$. Конденсаторы изготавливают на номинальное напряжение постоянного тока $U_{\text{ном}}$: при работе в диапазоне температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$ $U_{\text{ном}}=160$ в; свыше $+70$ до $+85^\circ\text{C}$ $U_{\text{ном}}=125$ в; от $+85$ до $+100^\circ\text{C}$ $U_{\text{ном}}=100$ в; от $+100$ до $+125^\circ\text{C}$ $U_{\text{ном}}=60$ в.

Тангенс угла потерь конденсаторов не более 0,015. Сопротивление изоляции между выводами при температуре $+20^\circ\text{C}$ для конденсаторов емкостью до 0,15 *мкф* 2 500 *Мом*, для конденсаторов емкостью 0,25 *мкф* и выше 500 *Мом*, между соединенными выводами и корпусом конденсатора 5 000 *Мом*.

Зависимость изменения емкости конденсаторов от температуры показана на рис. IV.36

Катушки индуктивности МКИ-3, МКИП-3, МКИС-3, постоянные, переменные и связанные соответственно, предназначены для работы в интервале температур от -60 до $+85^\circ\text{C}$ в цепях переменного и постоянного тока с постоянным напряжением 100 в при токе нагрузки до 5 ма.

Изготавливаются катушки в соответствии с рис. IV.37 на номинальные значения индуктивностей: 3150—63 000 *мкГн* для МКИ-3, МКИП-3 высотой 16,5 мм; 100—400 *мГн* для МКИ-3, МКИП-3 высотой 20,5 мм; 4000—25 000 *мкГн* для МКИС-3 высотой 16,5 мм. Величина температурного коэффициента индуктивностей указана в табл. IV.17.

ТАБЛИЦА IV. 17

Номинальная величина индуктивности, <i>мкГн</i>	ТКИ $\times 10^{-6}$, 1/град	
	$t = -60 \div +20^\circ\text{C}$	$t = +20 \div +85^\circ\text{C}$
1—315 400—1 000 1 250—400 000	± 300 ($-200 \div +400$) ($-200 \div +800$)	± 300 ($-100 \div +400$) ($-100 \div +500$)

Добротность катушек лежит в пределах от 25 до 90 для МКИ-3 и МКИП-3 и от 45 до 80 для МКИС-3. Коэффициент трансформации МКИС-3 от 1 до 10. Величина коэффициента связи для МКИС-3 не менее 0,8. Точность изготовления постоянных и связанных катушек не

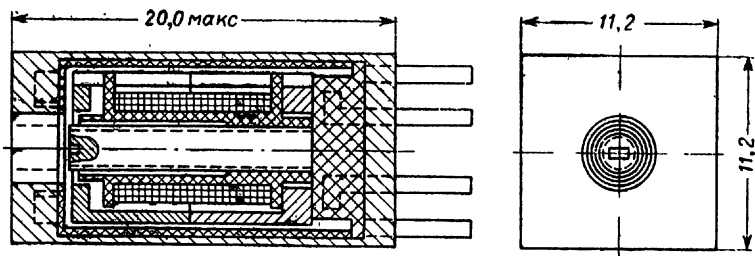


Рис. IV.37. Общий вид катушек индуктивности типа МКП-3.

хуже $\pm 5\%$. Сопротивление изоляции между обмотками для МКИС-3 не менее 100 *Мом*.

Трансформаторы ММТС-8÷13, согласующие трансформаторы низкой частоты, предназначены для работы в интервале температур -60 до $+85^\circ\text{C}$ в схемах низкочастотных трактов.

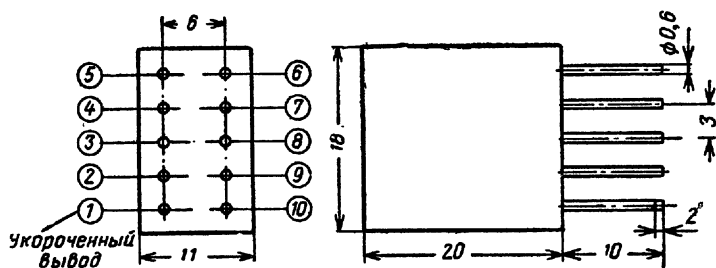


Рис. IV.38. Общий вид трансформаторов ММТС-8÷13.

Трансформаторы имеют общий вид, показанный на рис. IV.38. Трансформаторы рассчитаны на работу в диапазоне частот от 300 до 10 000 *гц* с неравномерностью частотной характеристики не более 5 *дб* и коэффициентом нелинейных искажений не более 10%. Электрические схемы трансформаторов показаны на рис. IV.39, электрические параметры приведены в табл. IV.18. Вес трансформаторов менее 14 *г*.

Сопротивление изоляции между первичными и вторичными обмотками трансформаторов и между симметричными частями этих обмоток не менее 100 *Мом*.

ТАБЛИЦА IV.18

Тип трансформатора	Входное сопротивление, ком	Выходное сопротивление, ом	К. п. д.	Максимальное напряжение на I обмотке U (эфф)	Ток подмагничивающий, мА	Коэффициент трансформации		Индуктивность I обмотки, мГн	Индуктивность рассеяния, мГн	Сопротивление обмоток постоянному току при $+20^\circ \text{C}$, ом	
						номинальное отклонение	допустимое отклонение			I обмотка	II обмотка
ММТС-8	1,92 (1-3) (4-6)	4 000 (7-9)	0,65	1 (1-3)	—	1,79	$\pm 0,18$	1,5 (1-3) (4-6)	0,11 (1-3) (4-6)	200 (1-3) (4-6)	1 700 (7-9) 100
ММТС-9	8,2 (1-2)	430 (3-4) (5-6)	0,8	4 (1-2)	3	0,26	$\pm 0,03$	1,5 (1-2)	0,22 (1-2)	510 (1-2)	(3-4) (5-6)
ММТС-10	12,5 (1-3)	400 (4-6)	0,8	10 (1-3)	1	0,18	$\pm 0,02$	6 (1-3)	0,6 (1-3)	1 700 (1-3)	26 (4-6)
ММТС-11	12,5 (1-3)	2 000 (4-6)	0,8	10 (1-3)	1	0,45	$\pm 0,04$	6 (1-3)	0,6 (1-3)	1 750 (1-3)	210 (4-6)
ММТС-12	16 (1-3)	1 000 (4-5) (5-6)	0,85	13 (1-3)	1	0,27	$\pm 0,03$	7,5 (1-3)	0,75 (1-3)	1 650 (1-3)	110 (4-5) (5-6)
ММТС-13	28 (1-2)	41 500 (3-4)	0,9	2 (1-2)	1	1,26	$\pm 0,13$	5 (1-2)	1,5 (1-2)	1 000 (1-2)	1 700 (3-4)

Примечание. В скобках указаны номера выводов обмоток трансформаторов в соответствии с принципиальными схемами.

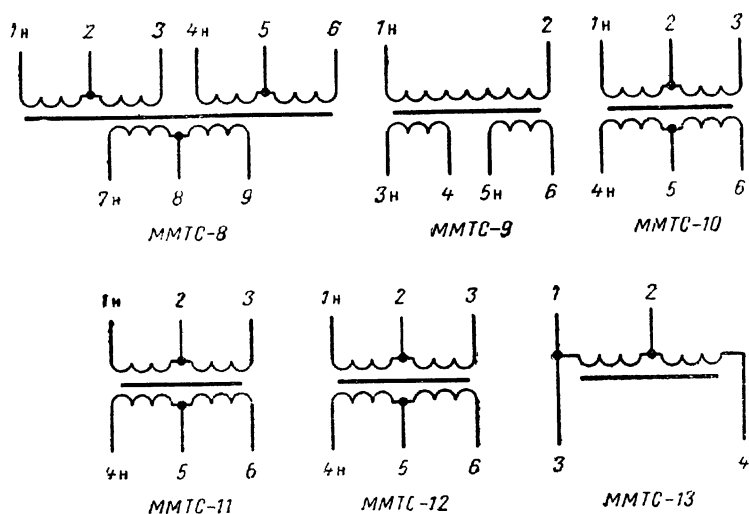


Рис. IV.39. Электрические схемы трансформаторов ММТС-8÷13.

Линии задержки ММЛЗ и ММЛЗ-М идентичны по внешнему виду и отличаются только электрическими параметрами.

Общий вид линий задержек показан на рис. IV.40, а принципиальная схема — на рис. IV.41. Электрические параметры ММЛЗ указаны в табл. IV.19.

ТАБЛИЦА IV.19

Параметр	ММЛЗ-0,5/300	ММЛЗ-0,5/600	ММЛЗ-0,5/1200	ММЛЗ-1,0/600
Время задержки, мксек	0,45—0,55	0,45—0,55	0,45—0,55,	0,45—0,1
Длительность фронта импульса на выходе, мксек	0,18	0,18	0,18	0,32
Коэффициент отражения, %	10	10	10	10
Коэффициент передачи	0,9	0,9	0,9	0,9
Температурная нестабильность, %	1,5	1,5	1,5	1,5

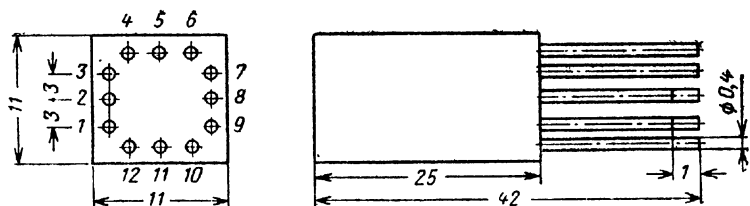


Рис. IV.40. Общий вид линий задержки ММЛЗ.

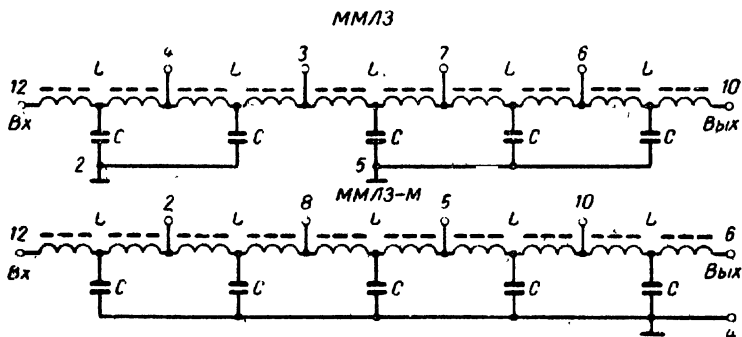


Рис. IV.41. Принципиальная схема линий задержки ММЛЗ.

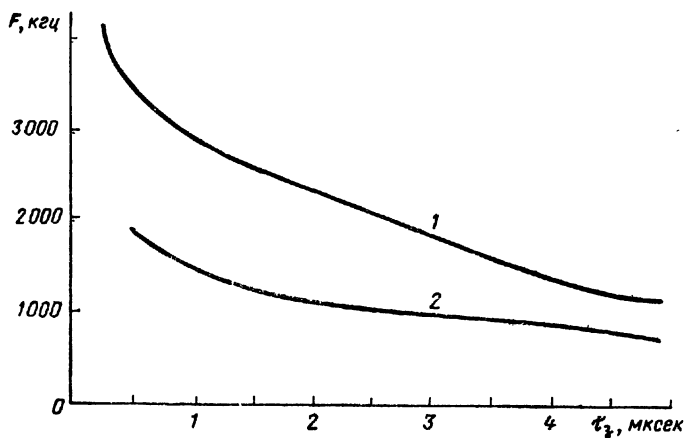


Рис. IV.42. Зависимость полосы пропускания от времени задержки:

1 — время задержки одной секции 0,1 мксек; 2 — время задержки одной секции 0,2 мксек.

Электрические параметры ММЛЗ-М указаны в табл. IV.20.

Зависимость изменения полосы пропускания от времени задержки последовательно соединенных линий за-

ТАБЛИЦА IV.2

Параметр	ММЛЗ-М0,25/75	ММЛЗ-М0,25/150	ММЛЗ-М0,5/150	ММЛЗ-М1,0/300
Время задержки линии, мксек . .	0,225—0,275	0,225—0,275	0,45—0,55	0,9—1,1
Длительность фронта импульса на выходе линии, мксек	0,12	0,12	0,17	0,3
Коэффициент от- ражения, % . . .	10	10	10	10
Коэффициент пе- редачи	0,9	0,9	0,9	0,9
Температурная нестабильность, %	5	5	5	4

держки показана на рис. IV.42 (для линий с временем задержки на секцию 0,1 и 0,2 мксек).

Кнопка МПК-2-1, малогабаритная кнопка двухполюсного включения с фиксацией положения «включено» и световой сигнализацией, предназначена для работы в интервале температур от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$ в цепях постоянного тока от 5 до 500 *ма* напряжением от 1,5 до 30 *в*. Световым элементом кнопок является специальная миниатюрная лампа накаливания типа ЖМ с номинальным напряжением 9—10 *в* и номинальным током 50 *ма*. В процессе эксплуатации допускается замена лампы. Общий вид кнопки МКП-2-1 показан на рис. IV.43.

Переключатели МПВ-1 изготавливаются с одной секцией на номинальное постоянное напряжение 1,5—30 *в* с током 5—200 *ма* при омической нагрузке или на переменное напряжение 1,5—100 *в* частотой 15—50 *Мгц* с током 5—300 *ма*.

Общий вид переключателя показан на рис. IV.44.

По схеме коммутации переключатели разделяются на: МПВ-1-1-1 с 1 замыкателем и 8 рабочими цепями; МПВ-1-1-2 с 2 замыкателями и 4 рабочими цепями; МПВ-1-1-3 с 3 замыкателями и 3 рабочими цепями; МПВ-1-1-5 с 5 замыкателями и 2 рабочими цепями. Момент переключения, замеренный на оси, имеет значения 0,2—1,0 кг·см.

Емкость между каждым двумя разомкнутыми контактами, любым контактом и корпусом не более 1 пф. Переключатели обеспечивают 10 000 переключений.

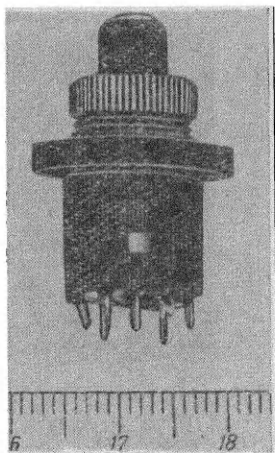


Рис. IV.43. Общий вид кнопки МПК-2-1.

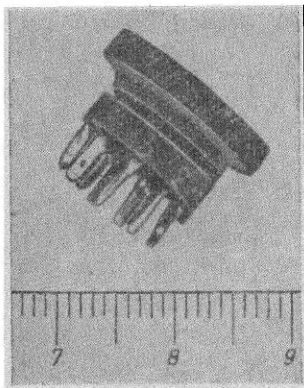


Рис. IV.44. Общий вид переключателя МПВ-1.

Переключатели низкочастотные МПН-1 изготавливаются на номинальное постоянное напряжение 1,5—30 в с током 5—500 ма при омической нагрузке и переменное напряжение 1,5—30 в частоты 50 гц с током 5—50 ма. Общий вид переключателя показан на рис. IV.45.

Момент переключения, замеренный на оси, находится в пределах 0,2—1,2 кг·см. Переключатели обеспечивают 15 000 переключений.

Фонари малогабаритные сигнальные МФС-1 изготавливаются на номинальное напряжение 9 в. Потребляемая мощность 500 мвт. Общий вид фонаря МФС-1 показан на рис. IV.46.

Высокочастотные разъемы МРВ-50 (рис. IV.47) имеют переходное сопротивление контактных пар штырь — гнездо и корпус — корпус не более 0,01 ом. Коэффици-

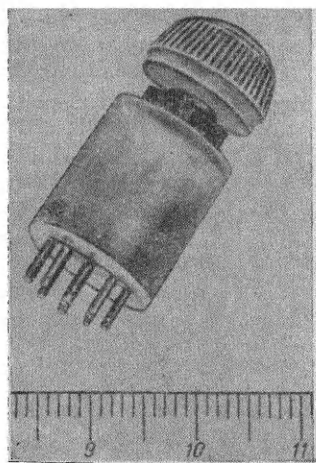


Рис. IV.45. Общий вид переключателя МПН-1.

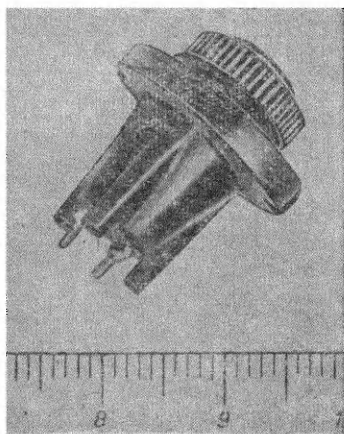


Рис. IV.46. Общий вид сигнального фонаря МФС-1.

ент стоячей волны по напряжению в диапазоне частот 500—3 000 $M\mu$ не более 1,5. Разъемы выдерживают 500-кратное сочленение.

Разъемы низкочастотные МРН изготавливаются нескольких типов: однорядные МРН4-1 с 4 контактами,

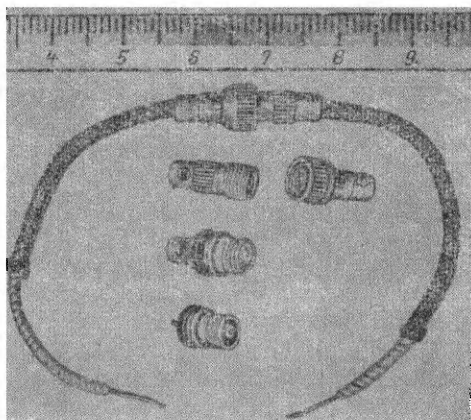


Рис. IV.47. Общий вид высокочастотного разъема МРВ-50.

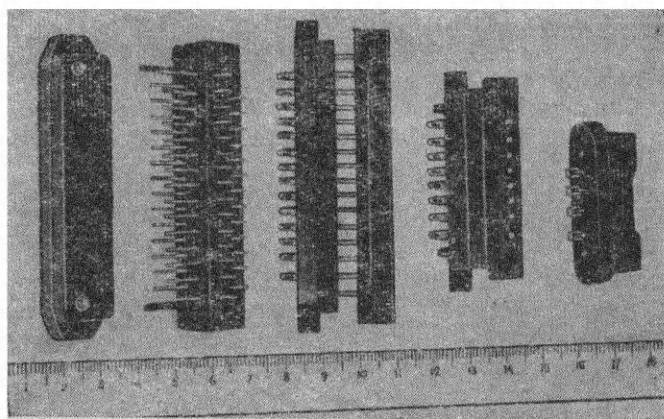


Рис. IV.48. Общий вид низкочастотных разъемов МРН.

МРН8-1 с 8 контактами, МРН14-1 с 14 контактами и МРН22-1 с 22 контактами; двухрядные МРН22-2, МРН32-2, МРН44-2. Разъемы однорядные допускают рабочее напряжение до 200 в при токе до 1 а, двухрядные — до 50 в при токе 0,5 а. Усилие расчленения от 0,2 до 5 кг (у 44 контактных разъемов). Общий вид разъемов МРН показан на рис. IV.48.

Контрольные гнезда МГК и штеккера малогабаритные МШ изготавливаются в нескольких вариантах: МГК-1-1 в прямом исполнении с креплением на шасси,

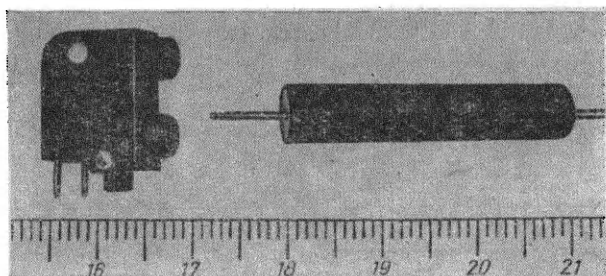


Рис. IV.49. Общий вид контрольного гнезда МГК-2-2 и штеккера МШ.

МГК-2-1 в прямом исполнении с креплением на печатной плате, МГК-2-2 в угловом исполнении с креплением на печатной плате и МГК-3-1 в прямом исполнении с креплением на шасси. На рис. IV.49 показан общий вид контрольного гнезда МГК-2-2 и штеккера МШ. Гнезда и штеккер допускают рабочее напряжение до 200 в и силу тока до 1 а.

Держатели предохранителей МДП и предохранители типа ВП-1 изготавливают 3 видов: МДП-1-1 в прямом исполнении с креплением на шасси; МДП-2-1 в прямом исполнении с креплением на печатной плате; МДП-2-2 в угловом исполнении с креплением на печатной плате. Держатели предохранителей рассчитаны на напряжение

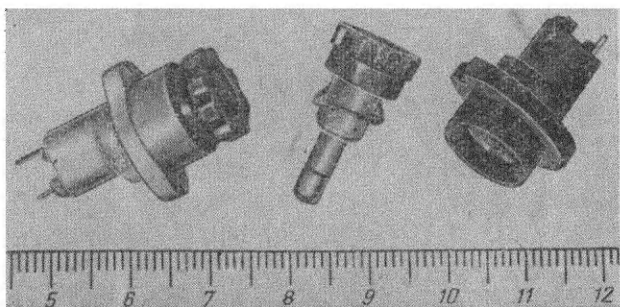


Рис. IV.50. Общий вид держателя предохранителя МДП-2-1 и предохранителя ВП-1-1.

до 200 в и силу тока до 2 а и используются для предохранителей ВП-1-1. Промышленностью выпускаются также предохранители ВП-1-2 с выводами на концах для припаивания к монтажным платам. На рис. IV.50 показан общий вид МДП-2-1 с ВП-1-1.

ЭТАЖЕРОЧНЫЕ МИКРОМОДУЛИ

V.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

К микромодулям предъявляется целый ряд технических и эксплуатационных требований. Прежде всего они должны изготавливаться по единой типовой технологии с использованием микроэлементов, выпускаемых про-

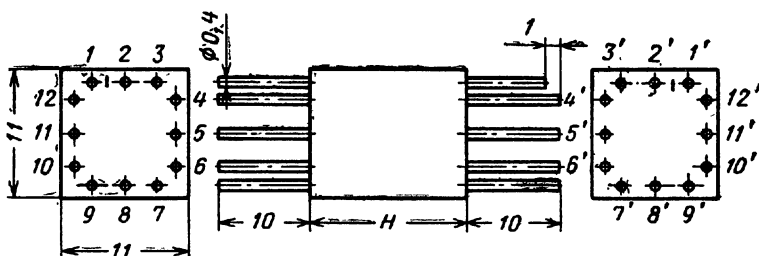


Рис. V.1. Общий вид микромодуля. Размер H может изменяться от 5 до 25 мм.

мышленностью. Общий вид микромодуля приведен на рис. V.1. Эксплуатационные требования, предъявляемые к микромодулям, разделяются на группы жесткости в соответствии с табл. V.1.

ТАБЛИЦА V.1

Группа жесткости	Вибрация		Многократные удары с ускорением, g	Одиночные удары с ускорением, g	Линейные ускорения, g
	диапазон частот, $гц$	ускорение, g			
I	5—2000	10	35	150	50
II	5—2500	15	35	150	50
III	5—5000	40	150	1 000	150

Напряжения питания микромодулей нормализованы и имеют номинальные значения $\pm (0,6; 1,2; 6,3; 12,6)$ в с допуском $\pm 10\%$. Микромодули могут эксплуатироваться в условиях изменения температур окружающей среды от -60 до $+70^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $95-98\%$ при температуре $+40^\circ\text{C}$ в течение $10-30$ суток, атмосферном давлении от 3 атм до 1 мм рт. ст. в рабочем интервале температур, циклическом воздействии крайних рабочих температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$, в условиях инея, росы, морского тумана и среды, зараженной плесневыми грибами.

Методы испытаний микромодулей на соответствие перечисленным требованиям аналогичны методам испытаний обычных радиодеталей. При всех механических и климатических испытаниях микромодули устанавливаются на печатные платы. Общий вид платы показан на рис. V.2. Для проведения механических испытаний платы с микромодулями закрепляют на двух взаимно-перпендикулярных гранях приспособления таким образом, чтобы продольные оси микромодулей на одной плате были параллельны вектору ускорения, а на другой — перпендикулярны. При проведении механических испытаний микромодулей приспособления должны обеспечивать в различных точках ускорения, отличающиеся от ускорений платформы стенда не более чем на 10% . До проведения механических и климатических испытаний платы с микромодулями лакируют защитным лаком.

Приведем принятую систему условных обозначений электрических параметров микромодулей.

П а р а м е т р ы н а п р я ж е н и я :

- U_K — напряжение коллектора;
- $U_э$ — напряжение эмиттера;
- $U_б$ — напряжение базы;
- $U_{\text{зап}}$ — амплитуда импульса запуска;
- $U_{\text{п}}$ — величина пульсаций постоянного напряжения;
- E — напряжение источника питания;
- $U_{\text{вх}}$ — амплитуда напряжения на входе;
- $U_{\text{вых}}$ — амплитуда напряжения на выходе;
- E_K — напряжение питания коллектора;
- $E_э$ — напряжение питания эмиттера;
- $E_б$ — напряжение питания базы.

П а р а м е т р ы т о к а:

- I_0 — постоянная составляющая тока;
 I_K — ток коллектора;
 I_a — ток эмиттера;
 I_6 — ток базы;
 I_{a0} — обратный ток эмиттера;
 I_{K0} — обратный ток коллектора;
 I — ток потребления.

П а р а м е т р ы м о щ н о с т и:

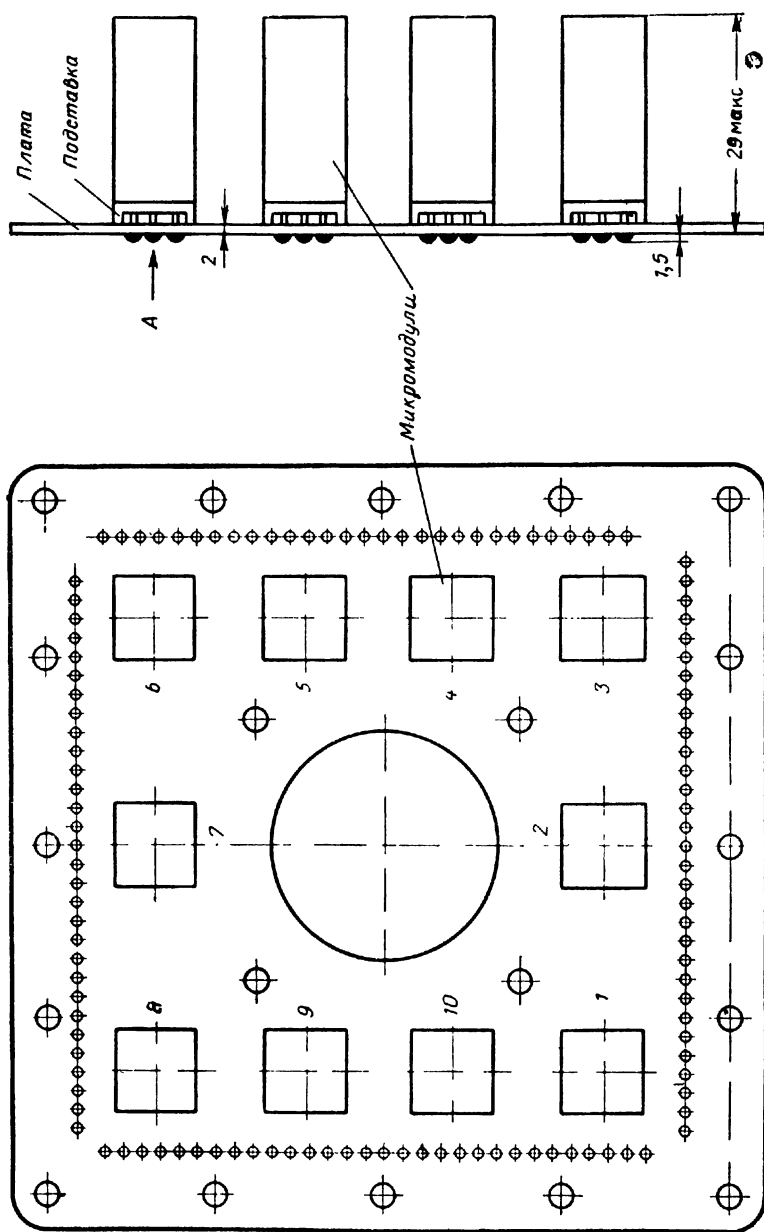
- P — мощность, потребляемая от источников питания;
 P_K — мощность, рассеиваемая на коллекторе;
 P_a — мощность, рассеиваемая на эмиттере.

Ч а с т о т н ы е п а р а м е т р ы:

- f — частота колебаний;
 $F_{\text{и}}$ — частота следования импульсов;
 $F_{\text{м}}$ — частота модуляции;
 Δf — полоса пропускания;
 f_0 — частота резонансная;
 $f_{\text{в}}$ — верхняя граничная частота;
 $f_{\text{н}}$ — нижняя граничная частота;
 $f_{\text{ц}}$ — центральная частота.

В р е м е н н ы е п а р а м е т р ы:

- T — период колебаний;
 t_z — время задержки импульсов;
 $t_{\text{уст}}$ — время установления колебаний (нарастание до постоянной амплитуды);
 $t_{\text{г}}$ — время гашения (затухания) колебаний;
 $t_{\text{в}}$ — время восстановления;
 $t_{\text{обр}}$ — время обратного хода пилообразного напряжения или тока;
 $t_{\text{пр}}$ — время прямого хода пилообразного напряжения или тока;
 τ — длительность импульсов;
 $\tau_{\text{ф}}$ — длительность фронта импульса (переднего фронта);
 $\tau_{\text{с}}$ — длительность спада импульса (заднего фронта);



Вид по А

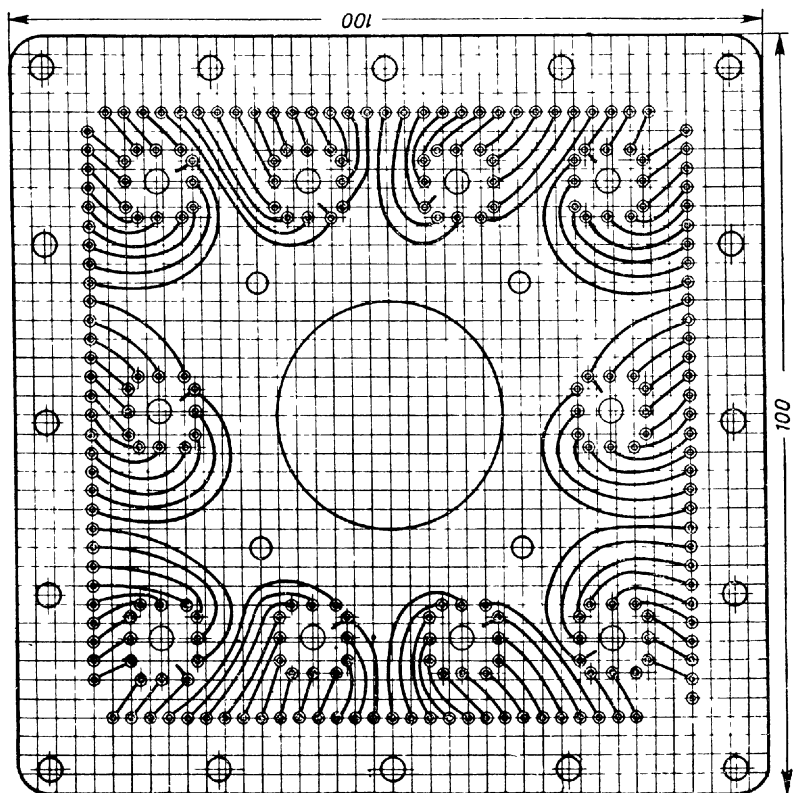


Рис. V.2. Печатная плата с установленными микромодулями.

S_{ϕ} — крутизна фронта импульса;
 S_c — крутизна спада импульса;
 Δt_{ϕ} — изменение длительности фронта импульса при прохождении его через схему;
 Δt_c — изменение длительности спада импульса при прохождении его через схему;
 $\tau_{\text{зап}}$ — длительность импульса запуска;
 $\tau_{\phi \text{ зап}}$ — длительность фронта импульса запуска;
 t_{Π} — время переключения.

Нагрузочные параметры:

R_{Π} — сопротивление нагрузки;
 R_c — сменное сопротивление;
 $R_{\text{доп}}$ — сопротивление, дополнительно подключенное к схеме;
 R_{oc} — сопротивление обратной связи;
 $R_{\text{вх}}$ — сопротивление входное;
 $R_{\text{вых}}$ — сопротивление выходное;
 R_{ϕ} — сопротивление фильтра;
 R_k — сопротивление в цепи коллектора;
 R_o — сопротивление в цепи эмиттера;
 $R_{\text{ш}}$ — сопротивление шунта;
 R_b — сопротивление в цепи базы;
 Z_{Π} — величина комплексной нагрузки;
 R_i — сопротивление источника сигнала;
 ρ — волновое сопротивление;
 C_{Π} — емкость нагрузки;
 $C_{\text{см}}$ — емкость сменного конденсатора;
 $C_{\text{доп}}$ — емкость, дополнительно подключаемая к схеме;
 C_{ϕ} — емкость фильтра;
 C_p — емкость разделительная;
 C — емкость нейтрализации;
 C_{Π} — емкость паразитная.

Прочие параметры:

K — коэффициент усиления (передачи);
 K_I — коэффициент усиления по току;
 K_U — коэффициент усиления по напряжению;
 q — коэффициент заполнения;
 γ — коэффициент нелинейности;
 K_a — коэффициент запаса по элементам;

$K_{нв}$ — коэффициент низкочастотных искажений;
 $K_{п}$ — коэффициент прямоугольности;
 $K_{пр}$ — коэффициент преобразования;
 κ — коэффициент затухания;
 Q — скважность импульсов;
 Δ — спад вершины импульса;
 m — коэффициент разветвления по выходу;
 n — коэффициент разветвления по входу;
 δ — выброс фронта импульса;
 K_f — коэффициент нелинейных искажений;
 D — динамический диапазон.

Примечание. Для микромодулей принято измерять: длительность импульса τ на уровне 0,5; длительность фронта импульса τ_f от уровня $0,1U_{\text{макс}}$ до уровня $0,9U_{\text{макс}}$; длительность спада импульса τ_c от уровня $0,1U_{\text{макс}}$ до уровня, определяемого точкой пересечения касательных к плоской вершине и спаду импульса, если спад вершины импульса $\Delta \geq 10\%$. В случае, когда $\Delta < 10\%$ измерение длительности спада производится от уровня $0,1U_{\text{макс}}$ до уровня $0,9U_{\text{макс}}$.

V.2. МИКРОМОДУЛИ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

При создании аппаратуры по функционально-узловому методу все входящие в аппаратуру узлы делятся на узлы общего и частного применения. Поскольку микромодульный метод проектирования является функционально-узловым, то для микромодулей также справедливо разделение на микромодули общего и частного применения.

Вследствие того, что номенклатура микромодулей общего и особенно частного применения довольно обширна и дать описание всех существующих типов невозможно, в настоящей главе дается описание и рекомендации по применению наиболее часто используемых микромодулей общего применения. Некоторые характеристики микромодулей приводятся в приложениях.

V.2.1. Эмиттерные повторители

Эмиттерные повторители в зависимости от характера передаваемых сигналов применяются:

- для передачи импульсов отрицательной полярности (ЭП-00, ЭП-03, ЭП-06);
- для передачи импульсов положительной полярности (ЭП-02, ЭП-04, ЭП-05);
- для импульсно-потенциальных схем (ЭП-07);
- для передачи синусоидальных и биполярных сигналов (ЭП-01, ЭП-08).

Принципиальные схемы микромодулей ЭП-00÷ЭП-08 изображены на рис. V.3—V.11, основные их параметры приведены в табл. V.2. Амплитудные, частотные, нагрузочные, температурные и другие характеристики приведены в приложении 1.

Эмиттерные повторители обладают рядом конструктивных и схемных особенностей, которые создают удобства при эксплуатации и расширяют область их применения.

Все эмиттерные повторители имеют общую разводку: вывод 6 — «земля», вывод 2 — «питание», вывод 5 — «выход».

Микромодули ЭП-00÷ЭП-06 имеют два входа: первый вход с разделительной емкостью, второй вход без разделительной емкости. Наличие второго входа позволяет подсоединить дополнительные внешние емкости и осуществить гальваническую связь источника сигнала и эмиттерного повторителя, при этом должен обеспечиваться нормальный режим работы повторителя. При использовании второго входа расширяются диапазоны длительностей и скважностей входных импульсов. Расширяются также диапазоны входных амплитуд в тех случаях, когда при гальванической связи уменьшается максимальный потенциал на базе эмиттерного повторителя.

В микромодулях ЭП-03, ЭП-05, ЭП-06 конденсатор C_1 не подсоединен к схеме эмиттерного повторителя. При использовании этого конденсатора в качестве входной разделительной емкости его подсоединяют к эмиттерному повторителю внешней перемычкой. Полярность подключения зависит от соотношения постоянных потенциалов на выходе предыдущей схемы ($U_{\text{вых}}$) и на базе эмиттерного повторителя (U_6).

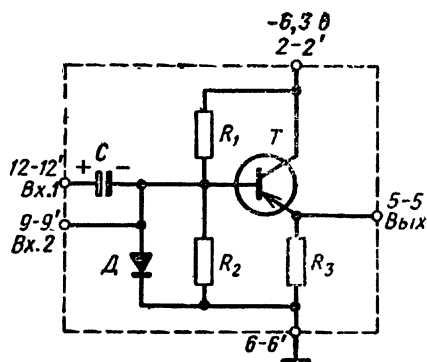
Если $U_6 - U_{\text{вых}} \geq 0$, конденсатор подключается к эмиттерному повторителю выводом «+», если $U_6 - U_{\text{вых}} \leq 0$ — выводом «—».

ТАБЛИЦА V.2

Условные обозначения микромодуля	Напряжение источника питания, в	Входные параметры				Выходные параметры				Ток потребляемый, мА	Мощность рассеивания, мВт
		$U_{\text{пит. макс.}}$, в	$R_{\text{вх. ком}}$	t , мксек	Q	K	$R_{\text{вых}}^{\text{пр.}} (R_{\text{г}}=6,8 \text{ ком})$	$\Delta T_{\text{ф. макс}}$	$\Delta T_{\text{с. макс}}$		
ЭП-00	$-6,3 \pm 10\%$	4,5	≥ 5	0,1—500	≥ 15	$\geq 0,8$	≤ 250	$\leq 0,1$	≤ 1	$\leq 1,2$	≤ 9
ЭП-03	$-6,3 \pm 10\%$	4,5	≥ 30	1—500	≥ 15	$\geq 0,8$	≤ 450	$\leq 0,5$	≤ 4	$\leq 1,2$	$\leq 8,5$
ЭП-06	$-6,3 \pm 10\%$	4,5	≥ 70	0,3—500	≥ 20	$\geq 0,6$	≤ 150	$\leq 0,1$	≤ 2	$\leq 0,8$	$\leq 5,5$
ЭП-02	$+6,3 \pm 10\%$	4,5	≥ 35	0,3—500	≥ 20	$\geq 0,6$	≤ 250	$\leq 0,25$	≤ 2	$\leq 1,5$	≤ 10
ЭП-04	$+6,3 \pm 10\%$	4,5	≥ 15	0,3—500	≥ 5	$\geq 0,8$	≤ 250	$\leq 0,15$	≤ 1	$\leq 0,8$	$\leq 5,5$
ЭП-05	$+12,6 \pm 10\%$	9	≥ 15	0,3—500	≥ 20	$\geq 0,8$	≤ 450	$\leq 0,25$	≤ 2	$\leq 0,8$	≤ 11
ЭП-07	$+6,3 \pm 10\%$	5	≥ 3 ($F_{\text{н}}=200 \text{ кГц}$) ≥ 10 ($F_{\text{н}}=15 \text{ кГц}$)		≥ 20	$\geq 0,8$		$\leq 0,25$	≤ 1	$\leq 3,5$	≤ 25
ЭП-01	$-6,3 \pm 10\%$	1,5	≥ 5			$\geq 0,8$	≤ 400	$\leq 1,2$		$\leq 3,5$	≤ 25
ЭП-08	$-6,3 \pm 10\%$	1	≥ 5			$\geq 0,8$	≤ 300	$\leq 0,5^*$ $\leq 0,1^{**}$	$\leq 0,1^*$ $\leq 0,5^{**}$	≤ 7	≤ 49

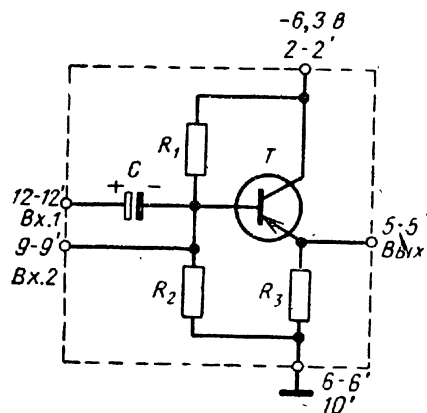
* Положительная часть биполярного импульса.

** Отрицательная часть биполярного импульса.



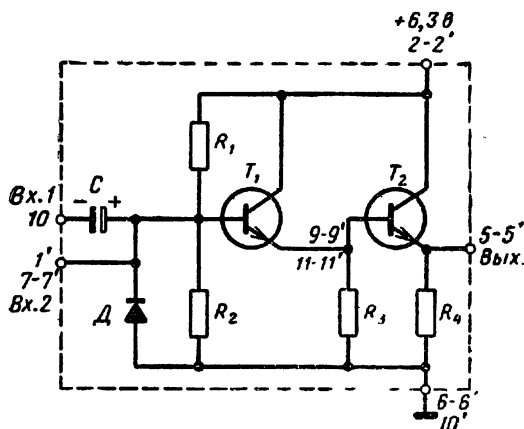
R_1	Резистор СЗ-4-330 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-12 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-12 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
C	Конденсатор КОПМ-30-2,2 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-4
D	Диод 2ДМ592Б	1-6
T	Транзистор ТМ-4Б	

Рис. V.3. Принципиальная схема микро модуля ЭП-00.



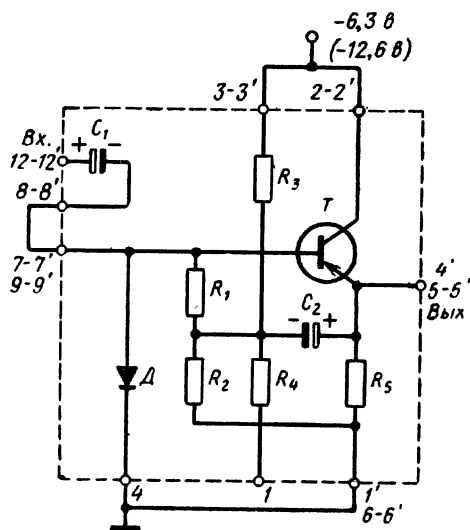
R_1	Резистор СЗ-4-18 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-27 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
C	Конденсатор КОПМ-30-2,2 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-4
T	Транзистор ТМ-4Б	

Рис. V.4. Принципиальная схема микро модуля ЭП-01.



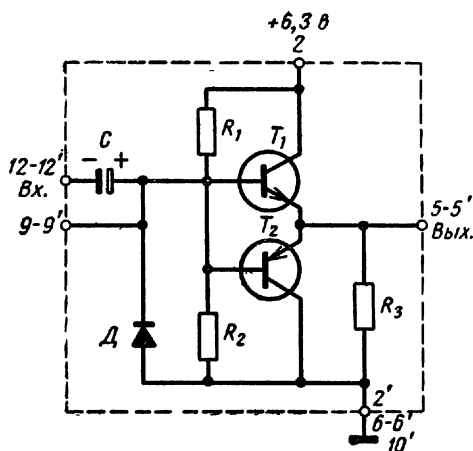
R_1	Резистор СЗ-4-1 мом $\pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-120 ком $\pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-15 ком $\pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-3,3 ком $\pm 10\%$	1-8
C	Конденсатор КОПМ-30-2,2 мкф $\pm 20\%$	1-4
D	Диод 2ДМ502Б	1-6
T_1	Транзистор ТМ-10А	
T_2	Транзистор ТМ-10А	

Рис. V.5. Принципиальная схема микромодуля ЭП-02.



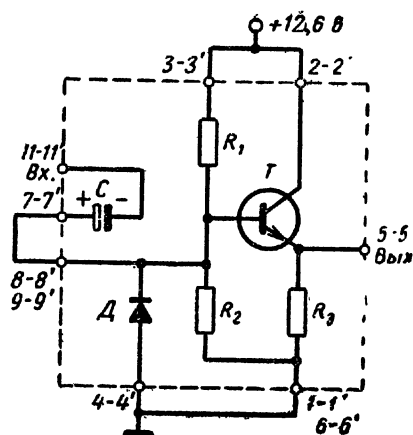
R_1	Резистор СЗ-4-22 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-6,8 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-68 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-6,8 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-3,3 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КОПМ-30-2,2 <i>мкф</i> $\pm 30\%$	1-5
C_2	Конденсатор КОПМ-30-2,2 <i>мкф</i> $\pm 30\%$	1-8
D	Диод 2ДМ502А	1-6
T	Транзистор ТМ-5Г	

Рис. V.6. Принципиальная схема микромодуля ЭП-03.



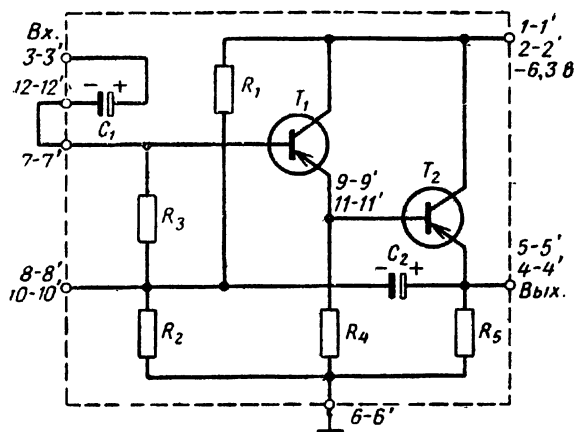
R_1	Резистор СЗ-4-91 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-120 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-3,3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
C	Конденсатор КОПМ-30-2,2 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-5
D	Диод 2ДМ502Б	1-6
T_1	Транзистор ТМ-10А	
T_2	Транзистор ТМ-4Б	

Рис. V.7. Принципиальная схема микро модуля ЭП-04.



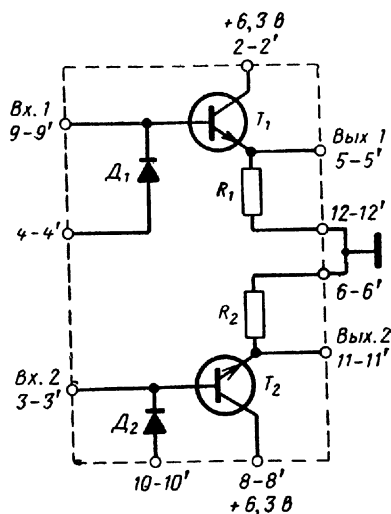
R_1	Резистор СЗ-4-560 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-56 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-3,3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
C	Конденсатор КОПМ-30-2,2 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-5
D	Диод 2ДМ502Б	1-6
T	Транзистор ТМ-10А	

Рис. V.8. Принципиальная схема микромодуля ЭП-05.



R_1	Резистор СЗ-4-120 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2, R_4	Резистор СЗ-4-12 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-56 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-3,3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КОПМ-30-2,2 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-4
C_2	Конденсатор КОПМ-30-2,2 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-5
T_1	Транзистор ТМ-11Б	
T_2	Транзистор ТМ-5В	

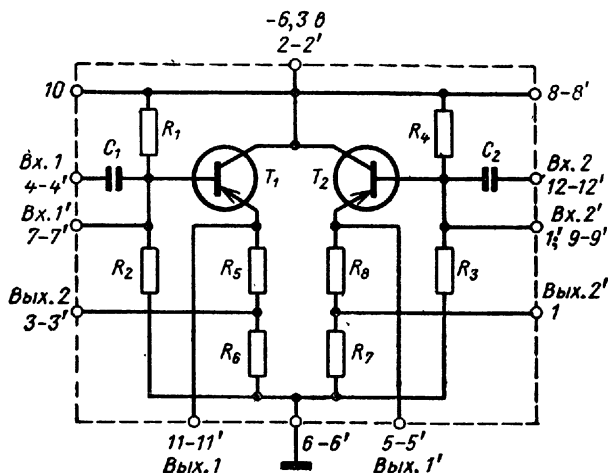
Рис. V.9. Принципиальная схема микромодуля ЭП-06.



R_1, R_2	Резистор СЗ-4-3,3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Б	1-6
T_1, T_2	Транзистор ТМ-3Г	

Рис. V.10. Принципиальная схема микромодуля ЭП-07.

В микромодулях ЭП-03, ЭП-05, ЭП-07 один из выводов диода не подключен к схеме эмиттерного повторителя. При подаче сигналов с малой скважностью для восстановления уровня постоянной составляющей на базе повторителя свободный вывод диода следует заземлять. Для уменьшения длительности спада выход-



R_1	Резистор СЗ-4-18 ком $\pm 10\%$	1-4
R_2, R_3	Резистор СЗ-4-27 ком $\pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-18 ком $\pm 10\%$	1-8
R_5, R_8	Резистор СЗ-4-470 ком $\pm 10\%$	1-5
R_6, R_7	Резистор СЗ-4-1,5 ком $\pm 10\%$	1-4
C_1, C_2	Конденсатор КМК-3-Н30-0,022 мкф $\pm 20\%$	1-4
T_1, T_2	Транзистор ТМ-4Б	

Рис. V.11 Принципиальная схема микромодуля ЭП-08.

ных импульсов свободный вывод диода может быть подключен на выход эмиттерного повторителя. В микромодуле ЭП-06 для передачи импульсов со скважностью, меньшей 20, рекомендуется между базой первого транзистора и землей подключать внешний диод типа 2ДМ502.

Микромодуль ЭП-08 состоит из двух эмиттерных повторителей с общим питанием. Если в микромодуле используется только один эмиттерный повторитель, базу другого рекомендуется заземлять.

Для правильного выбора типов эмиттерных повторителей при использовании их в радиотехнических схемах следует руководствоваться основными параметрами, значения которых даны в табл. V.2, и графиками, приведенными в приложении 1.

Эмиттерные повторители применяются в качестве согласующих каскадов в различных радиотехнических устройствах. Использование эмиттерных повторителей в сочетании с импульсными схемами позволяет повысить входное сопротивление некоторых типов микромодулей (табл. V.3).

ТАБЛИЦА V.3

Наименование микромодуля	Условное обозначение	Тип эмиттерного повторителя на входе схемы	Частота, кГц	Входное сопротивление, ком	
				без ЭП	с ЭП на входе
Видеоусилитель	ВУ-01	ЭП-04	≤ 10	2	≥ 15
Мульти- вibrator Блокинг- генератор	МЖ-01 }	ЭП-00	≤ 60	1—2	≥ 5
	МЖ-02 }	ЭП-04	≤ 60	1—2	≥ 10
	БЖ-00	ЭП-06	≤ 50	3	≥ 70
	(запуск через УИ-06)				

При подключении на выход микромодулей эмиттерных повторителей значительно улучшаются их нагрузочные характеристики. В качестве примера на рис. V.12 представлены нагрузочные характеристики триггера ТС-00 $U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ и $\tau_{\text{ф}}(\tau_{\text{с}}) = f(C_{\text{н}})$ без эмиттерного повторителя (кривая 1) и с подключенным эмиттерным повторителем типа ЭП-04 (кривая 2).

Как видно из рис. V.12, при подключении на выход триггера эмиттерного повторителя расширяется диапазон допустимых активных и емкостных нагрузок.

На рис. V.13 представлены нагрузочные характеристики микромодуля ВФ-04 $U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ и $\tau_{\text{ф}} \text{ вых} = f(C_{\text{н}})$ без эмиттерного повторителя (кривая 1) и с подключением на выход эмиттерного повторителя ЭП-00 (кривая 2). Как видно из рис. V.13, при подключении эмит-

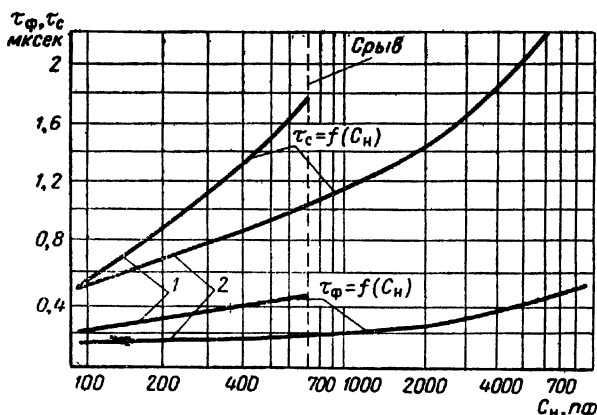
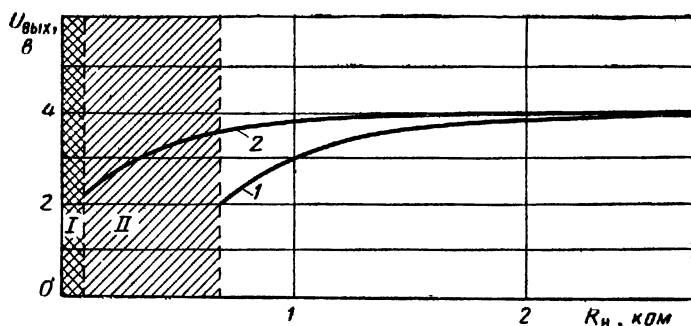


Рис. V.12. Нагрузочные характеристики $U_{\text{вых}} = f(R_n)$ и $\tau_\phi, \tau_c = f(C_n)$ триггера ТС-00:

1 — без подключения эмиттерного повторителя ЭП-04 на выход триггера; 2 — с подключением ЭП-04 на выход триггера.

Заштрихованные области — области неустойчивого запуска триггера: I — с подключением ЭП-04 на выходе триггера; II — без подключения ЭП-04.

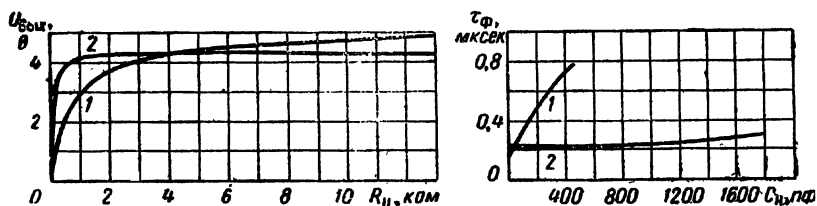


Рис. V.13. Нагрузочные характеристики $U_{\text{вых}} = f(R_n)$ и $\tau_\phi = f(C_n)$ микромодуля ВФ-04.

1 — без подключения эмиттерного повторителя ЭП-00 на выход вентиля формирователя; 2 — с подключением ЭП-00 на выход вентиля формирователя.

терного повторителя на выход вентиля-формирователя последний может работать в области малых активных нагрузок и фронт входного импульса в этом случае значительно улучшается.



Рис. V.14. Блок-схема узла 1.

В качестве примера использования эмиттерных повторителей для согласования различных импульсных схем можно привести некоторые узлы.

Рассмотрим узел 1, блок-схема которого приведена на рис. V.14.

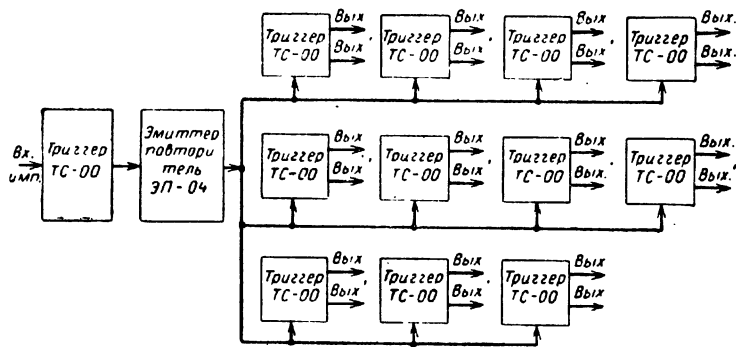


Рис. V.15. Блок-схема узла 2.

Эмиттерный повторитель ЭП-00 применяется для согласования вентиля-формирователя ВФ-04 с триггером ТС-00. При непосредственной связи вентиль-формирователь ВФ-04 не обеспечивает надежного запуска триггера в диапазоне температур. Включение между вентилем-формирователем ВФ-04 и триггером ТС-00 эмиттерного повторителя ЭП-00 согласует микромодули по входным и выходным параметрам и узел становится работоспособным в диапазоне температур.

На рис. V.15 приведена блок-схема второго узла. Эмиттерный повторитель ЭП-04 используется для согласования триггера ТС-00 с группой параллельно соединенных триггеров. При непосредственном подключении на вход триггера ТС-00 двух параллельно соединенных триггеров нарушается их устойчивый запуск. Включением эмиттерного повторителя между запускающим триггером и группой параллельно соединенных триггеров обеспечивается нормальная работа узла в диапазоне температур.

V.2.2. Система импульсно-потенциальных микромодулей

Система импульсно-потенциальных элементов (СИПЭ), в которой используются сигналы двух видов (импульсные и потенциальные), является универсальной, сочетает достоинства импульсной и потенциальной систем логических элементов, обеспечивает требуемое быстродействие и экономичность, простоту реализации логических схем и удобство сопряжения с входными и выходными устройствами.

В состав СИПЭ входят следующие элементы (микромодули): инверторы И-018 и И-019, вентили В-020 и В-021, импульсные усилители У-024 и У-027, усилитель тока У-026, эмиттерный повторитель П-025, генератор Г-002, диодная сборка Д-022.

Микромодули СИПЭ, представляющие собой комплекс взаимно согласованных логических элементов, имеют следующие общие характеристики:

- равные напряжения питания и смещения, отличающиеся полярностью ($\pm 6,3$ в);
- равные уровни ограничения для импульсных и потенциальных сигналов;
- применение диодных связей (развязок) между элементами для стандартизации фронтов, амплитуд и уровней сигналов и выполнения логических функций;
- использование импульсных сигналов единой полярности (положительной);
- высота основных типов микромодулей около 25 мм.

Микромодули СИПЭ по применяемости подразделяются на основные и вспомогательные.

К основным элементам относятся микромодули массового применения: инверторы И-018, И-019 и вентили В-020, В-021, реализующие логические функции И, ИЛИ, НЕ, а также функции задержки и запоминания. Основные микромодули образуют две группы, отличающиеся по быстродействию: низкочастотную группу с тактовой частотой до 125 кГц и высокочастотную группу с тактовой частотой до $500 \div 1\,000$ кГц.

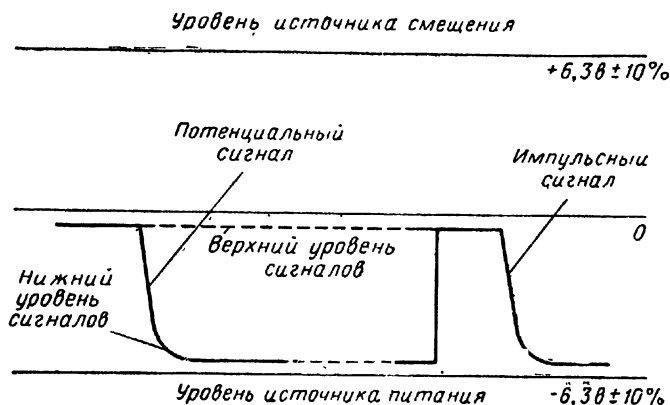


Рис. V.16. Сигналы связи.

К вспомогательным элементам относятся микромодули ограниченного применения: диодная сборка, эмиттерные повторители, импульсные усилители, усилитель тока и генератор, дополняющие основные элементы. Инверторы, соединенные в кольцо с помощью диодных связей составляют схему триггера. Счетный триггер выполняется с использованием внешних вентилях. Из импульсного усилителя и инвертора, соединенных в кольцо с помощью диодных связей, составляют ждущий мультивибратор. Нагрузки микромодулей (кроме повторителя) включаются только относительно источника питания.

Для связи элементов СИПЭ используются стандартные сигналы (рис. V.16), амплитуда которых изменяется между уровнями $0 \div -0,5$ в и $-(5,5 \div 6,3)$ в, соответствующими потенциалам коллектора транзистора в режимах насыщения и отсечки коллекторного тока. Стандартные сигналы подразделяются на потенциальные и

импульсные. К потенциальным относятся сигналы, длительность которых превосходит тактовый период, к импульсным — сигналы, длительность которых меньше тактового периода. Потенциальные сигналы снимаются обычно с выходов триггеров, ждущих мультивибраторов, инверторов; импульсные — с выходов вентиля.

Потенциальные сигналы имеют два значения:

— нижний уровень напряжения или уровень «1» является разрешающим для вентиля (напряжение на коллекторе закрытого транзистора около -6 в);

— верхний уровень напряжения или уровень «0» является запрещающим для вентиля (напряжение на коллекторе насыщенного транзистора около $-0,3$ в).

Импульсные сигналы принципиально могут иметь две полярности: положительную, когда пауза между импульсами соответствует нижнему уровню напряжения, а вершина импульса — верхнему уровню напряжения, и отрицательную, когда пауза между импульсами соответствует верхнему уровню напряжения, а вершина импульса — нижнему уровню напряжения. Для элементов СИПЭ стандартными являются импульсные сигналы положительной полярности. При прохождении через вентиль полярность импульсного сигнала остается положительной.

Питание микромодулей СИПЭ осуществляется от источников напряжения $\pm 6,3$ в $\pm 10\%$, исключение составляет микромодуль У-026, который по цепи нагрузки рассчитан на напряжение $-12,6$ в $\pm 10\%$. Отклонение напряжений источников питания на $\pm 10\%$ должно включать в себя нестабильность напряжений и их пульсацию.

Наименее опасны одинаковые по абсолютной величине изменения напряжений источников питания и смещения, например увеличение напряжений до ± 7 в или уменьшение напряжений до $\pm 5,6$ в. При повышенной температуре наиболее критичным является увеличение напряжения питания до -7 в и уменьшение напряжения смещения до $+5,6$ в.

Специальное уменьшение напряжения питания или увеличение напряжения смещения на 10% повышает запас устойчивости при повышенной температуре и может быть рекомендовано при выборе напряжений источников питания.

При отрицательной температуре наиболее опасным является уменьшение напряжения питания до $-5,6$ в и увеличение напряжения смещения до $+7$ в, поэтому может быть рекомендовано искусственное увеличение напряжения питания или уменьшение напряжения смещения на $\pm 10\%$.

При конструировании узлов, для уменьшения помех следует цепь нулевого потенциала выполнить с помощью шины печатного монтажа шириной не менее 5 мм. Микро модули, непосредственно связанные между собой сигнальными линиями, должны быть по возможности непосредственно связаны отдельными линиями нулевого потенциала. Цепи питания отрицательного потенциала следует выполнять с помощью проводников повышенной ширины (до 2 мм).

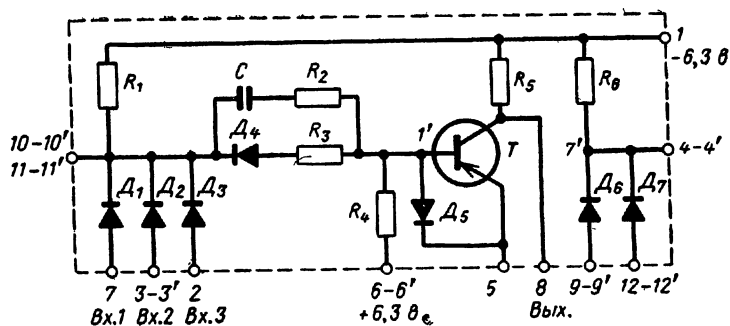
Каждый узел из 50—70 микро модулей следует снабдить конденсаторами развязки цепей питания и смещения. Для цепи питания следует использовать конденсатор емкостью не менее 10 мкф, шунтированный конденсатором в 10 000 пф; для цепи смещения — конденсатор емкостью не менее 1 мкф, шунтируемый 10 000 пф.

Инверторы И-018 и И-019 (рис. V.17) в логическом и схемном отношении представляют собой потенциальные инвертирующие усилители (схема отрицания НЕ) с диодной схемой совпадения И отрицательных сигналов (или схемы объединения ИЛИ положительных сигналов) на входе. Микро модули И-018 и И-019 помимо инвертора с входной диодной схемой содержат дополнительную независимую диодную логическую схему Д-018 и Д-019, которая может быть использована совместно с другими микро модулями, например, в качестве импульсной сборки для клапанов.

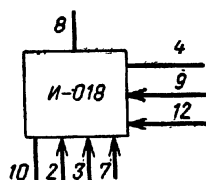
Характеристики микро модулей И-018 и И-019 приведены в табл. V.4.

Клапаны В-020 и В-021 (рис. V.18) в логическом и схемном отношении представляют собой импульсно-потенциальные схемы совпадения с неинвертирующим (повторяющим) импульсным усилителем, с диодной схемой совпадения И отрицательных потенциалов и задержкой (запоминанием) потенциала на время действия импульса.

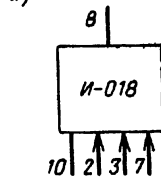
Микро модули реализуют операцию управления прохождением импульсов со стороны потенциального сигнала



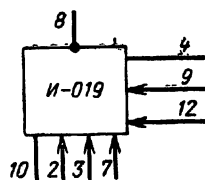
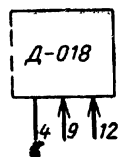
а)



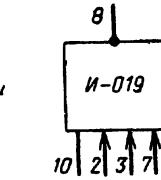
или



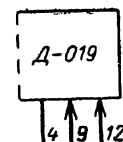
б)



или



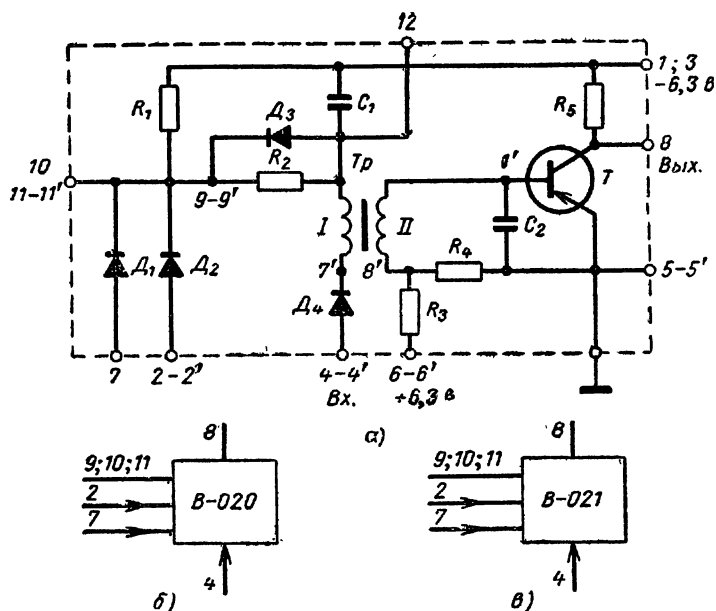
в)



		И-018	И-019
R_1, R_6	Резистор СЗ-4	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-4$	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-4$
R_2	Резистор СЗ-4	$220 \text{ ом} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$560 \text{ ом} \pm 10\% \text{ } 1-5$
R_3	Резистор СЗ-4	$3,9 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$3,9 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$
R_4	Резистор СЗ-4	$22 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-5$	$22 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-5$
R_5	Резистор СЗ-4	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$
C	Конденсатор КМК-2М1500	$560 \text{ нф} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$1000 \text{ нф} \pm 10\% \text{ } 1-8$
D_1	Диод	ДММЗВП $1-4$	ДММЗВП $1-4$
D_2	Диод	ДММЗВП $1-6$	ДММЗВП $1-6$
D_3	Диод	ДММЗВП $2-5$	ДММЗВП $2-5$
D_4, D_5	Диод	2ДМ502А $2-5$	2ДМ502А $2-5$
D_6, D_7	Диод	ДММЗВП $1-6$	ДММЗВП $1-6$
T	Транзистор	1ТМ305Б	1ТМ305Б

Рис. V.17. Микромодули И-018 и И-019:

а — схема принципиальная; б — условное изображение И-018; в — условное изображение И-019.



		В-020	В-021
R_1	Резистор СЗ-4	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-4$	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-4$
R_2	Резистор СЗ-4	$22 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-4$	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-4$
R_3	Резистор СЗ-4	$22 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$12 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$
R_4	Резистор СЗ-4	$220 \text{ ом} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$330 \text{ ом} \pm 10\% \text{ } 1-8$
R_5	Резистор СЗ-4	$1,2 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$	$2,7 \text{ ком} \pm 10\% \text{ } 1-8$
C_1	Конденсатор КМК-2-М1500	$180 \text{ пф} \pm 10\% \text{ } 1-4$	$560 \text{ пф} \pm 10\% \text{ } 1-4$
C_2	Конденсатор КМК-2-М1500		$50 \text{ пф} \pm 10\% \text{ } 1-5$
D_1, D_3, D_4	Диод	ДММЗВП $1-4$	ДММЗВП $1-4$
D_2	Диод	ДММЗВП $2-5$	ДММЗВП $1-4$
T_p	Трансформатор	ММТИ-28	ММТИ-25
T	Транзистор	1ТМ305Б	1ТМ305Б

Рис. V.18. Микромодули В-020 и В-021:

а — схема принципиальная; б — условное изображение В-020; в — условное изображение В-021.

ла. При наличии потенциального сигнала «0» осуществляется операция статического запрета. При наличии потенциальных сигналов «1» на всех используемых диодных потенциальных входах осуществляется операция статического разрешения.

ТАБЛИЦА V.4

Параметр	Значение параметра	
	для И-019	для И-018
Тактовая частота для триггера, <i>кГц</i>	≤ 125	≤ 1000
Коэффициент разветвления при работе на инверторы или вентили	1—3	1—3
Уровень сигнала „1“ при $+20^{\circ}\text{C}$ (относительно цепи питания 6,3 в, <i>в</i>)	0—0,3	0—0,3
Уровень сигнала „0“ при $+20^{\circ}\text{C}$ (относительно эмиттера), <i>в</i>	— (0,1÷0,3)	— (0,1÷0,3)
Сопротивление внешней нагрузки относительно источника питания, <i>ком</i>	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$
Задержка при закрывании транзистора, <i>мксек</i>	$\leq 0,5$	$\leq 0,2$
Задержка при открывании транзистора, <i>мксек</i>	$\leq 0,5$	$\leq 0,05$
Помехоустойчивость, <i>в</i>	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$
Установившееся значение входного тока, <i>ма</i>	≤ 2	≤ 2
Максимальное импульсное значение входного тока, <i>ма</i>	5	8
Среднее потребление тока от источника питания — 6,3 в, <i>ма</i>	3,5	3,5
Среднее потребление тока от источника питания +6,3 в, <i>ма</i>	0,3	0,3
Мощность рассеивания, <i>мвт</i>	20	20

Технические характеристики микромодулей В-020 и В-021 приведены в табл. V.5.

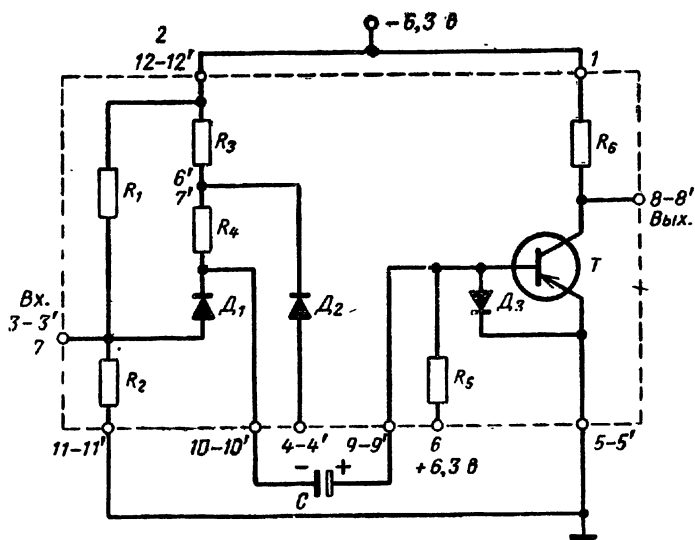
Импульсные инверторы У-024 и У-027 (рис. V.19 и V.20) предназначены для получения импульсов стабильной длительности и рассчитаны на подключение внешних конденсаторов связи. Характеристики микромодулей У-024 и У-027 приведены в табл. V.6. Из двух микромодулей У-024 или У-027 можно построить схему автоколебательного мультивибратора. Схемы ждущих мультивибраторов получают соединением микромодулей У-024 или У-027 с микромодулем И-018 (И-019).

ТАБЛИЦА V.5

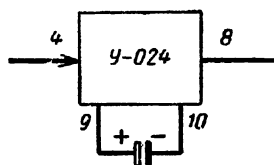
Параметр	Значение параметра	
	для В-021	для В-020
Тактовая частота для счетчика, <i>кГц</i>	≤125	≤1000
Коэффициент разветвления при работе на вентили	1—4	1—4
Коэффициент разветвления при работе на вентили и триггеры в любых сочетаниях	1—3	1—3
Полярность входных и выходных импульсов	Положительная	
Амплитуда импульсов, <i>в</i>	5,5—6,0	5,5—6
Длительность импульсов, <i>мксек</i>	1—3	0,3—0,6
Задержка импульса, <i>нсек</i>	≤300	≤30
Амплитуда импульсов помех на входе и выходе, <i>в</i>	≤1,0	≤1,0
Сопротивление внешней нагрузки относительно источника питания, <i>ом</i>	≥300	≥300
Амплитуда импульса входного тока, <i>ма</i> :		
при разрешении	≤6	≤6
при запрете	≤0,1	≤0,1
Среднее потребление тока от источника питания —6,3 <i>в, ма</i>	≤1,5	≤2,5
Среднее потребление тока от источника питания +6,3 <i>в, ма</i>	≤0,6	≤0,3
Мощность рассеивания, <i>мвт</i>	≤15	≤20

ТАБЛИЦА V.6

Параметр	Значение параметра	
	У-024	У-027
Длительность сигнала с внешними конденсаторами 0,1 <i>мкф, мксек</i>	225	200
Время восстановления при 0,1 <i>мкф, нсек</i>	75	70
Коэффициент разветвления	1—3	1—3
Сопротивление внешней нагрузки относительно источника питания, <i>ом</i>	1 000	1 000
Установившееся значение входного тока, <i>ма</i>	2	1
Максимальное импульсное значение входного тока, <i>ма</i>	4	6



а)

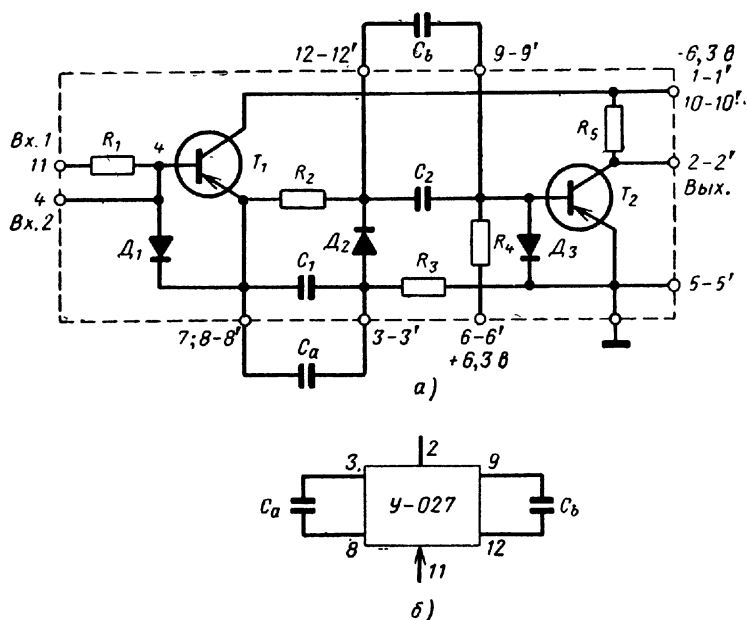


б)

R_1	Резистор С5-6-680 ом $\pm 1\%$	1-4
R_2	Резистор С5-6-680 ом $\pm 1\%$	1-5
R_3	Резистор С5-6-2,7 ком $\pm 1\%$	1-5
R_4	Резистор С3-4-330 ом $\pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор С3-4-56 ком $\pm 10\%$	1-4
R_6	Резистор С3-4-2,7 ком $\pm 10\%$	1-8
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Г	1-4
D_3	Диод 2ДМ502А	2-5
T	Транзистор 1ТМ305Б	

Рис. V.19. Микромодуль У-024:

а — схема принципиальная; б — условное изображение.



R_1	Резистор СЗ-4-680 ом $\pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор С5-6-2,7 ком $\pm 1\%$	1-5
R_3	Резистор С5-6-2,7 ком $\pm 1\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-56 ком $\pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-2,7 ком $\pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КМК-2-М1500-560 пф $\pm 10\%$	1-8
C_2	Конденсатор КМК-2-М1500-560 пф $\pm 10\%$	1-4
D_1	Диод 2ДМ502А	1-4
D_2, D_3	Диод 2ДМ502Г	1-6
T_1, T_2	Транзистор 1ТМ305Б	

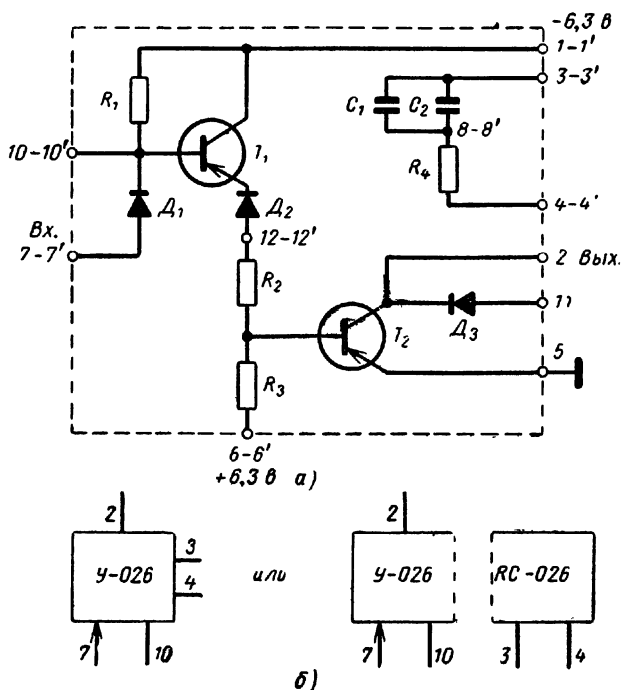
Рис. V.20. Микромодуль У-027:

а — схема принципиальная; б — условное изображение.

Усилитель тока У-026 (рис. V.21) рассчитан на ток нагрузки до 40 ма при напряжении питания цепи нагрузки до —12,6 в. Подключение усилителя к инверторам должно осуществляться через диод с тем, чтобы не подгружать источник сигнала током базы первого транзистора микромодуля У-026. В качестве разделительного диода может использоваться внутренний входной диод

микромодуля У-026 либо внешний диод, расположенный вблизи источника сигнала.

Микромодуль У-026 может использоваться для работы на сигнальную лампочку СМ37 при напряжении пи-



R_1	Резистор СЗ-4-2,7 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-330 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-12 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-68 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
C_1, C_2	Конденсатор КМПМ-0,01 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-8
D_1	Диод 2ДМ502Г	1-4
D_2, D_3	Диод 2ДМ502А	2-5
T_1, T_2	Транзистор ТМ-11А	

Рис. V.21. Микромодуль У-026:

а — схема принципиальная; б — условное изображение.

тания — 12,6 в, при котором яркость свечения СМ37 является достаточной, или для работы на другие лампочки с током до 40 ма. Микромодуль У-026 рассчитан

также для работы на обмотку электромагнитного реле типа РЭС-15 при напряжении питания —12,6 в. Диод D_3 в схеме подключается к источнику питания нагрузки и служит для ограничения выбросов напряжения на коллекторе выходного транзистора при его заперении. В состав микромодуля входит искрогасительная цепь $C_1C_2R_4$, подключаемая параллельно контактам реле. Элементы искрогасительной цепочки могут быть также использованы в качестве фильтра питания.

Микромодуль У-026 может быть использован в низкочастотных логических схемах в качестве мощного инвертора. Время переключения усилителя может достигать 10 мксек. Коэффициент разветвления на инверторы, потенциальные входы вентиля и т. п. может достигать 15—20.

Для возбуждения реле с током более 40 ма могут быть использованы 2—3 параллельно включенных усилителя У-026. При этом для распределения токов нагрузки желательно включить последовательно сопротивления, обеспечивающие падение напряжения около 0,5 в.

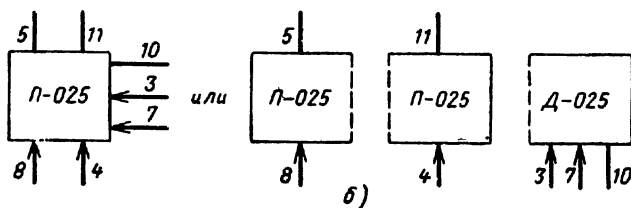
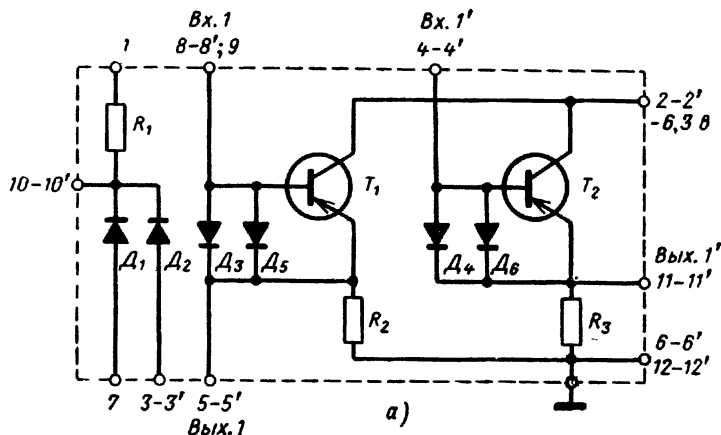
Основные характеристики:

напряжение цепи нагрузки	—12,6 в \pm 10%
напряжение питания	—6,3 в \pm 10%
напряжение смещения	+6,3 в \pm 10%
ток цепи нагрузки	до 40 ма
ток цепи питания	7 ма
ток цепи смещения	0,5 ма
уровень сигнала „1“ на выходе (напряжение на коллекторе закрытого транзистора)	—12 в
уровень сигнала „0“ на выходе (напряжение на коллекторе насыщенного транзистора при токе 40 ма)	—0,6 в
сопротивление внешней нагрузки относительно источника питания	≥ 300 ом
длительность фронтов выходного сигнала	7 мксек
входной ток (при сигнале „0“)	2 ма

Эмиттерные повторители П-025 (рис. V.22) используются при работе на емкостную нагрузку для улучшения отрицательного фронта сигнала или при работе на нагрузку относительно земли. Разрядный диод защищает переход база — эмиттер от пробоя при воздействии положительных фронтов сигналов и ускоряет разряд емкости нагрузки. Эмиттерные повторители могут использоваться при трансляции как потенциальных, так и импульсных сигналов.

Основные характеристики:

уровень сигнала „1“ на входе (относительно источника питания)	0—0,3 в
уровень сигнала „1“ на выходе (относительно источника питания)	0,3—0,9 в
уровень сигнала „0“ на входе	— (0,1—0,4) в
уровень сигнала „0“ на выходе	0÷—0,3 в
выходное сопротивление	100 ом
сопротивление внешней нагрузки на землю	1 000 ом
длительность фронтов на выходе при нагрузке 1 000 пф	0,3 мксек

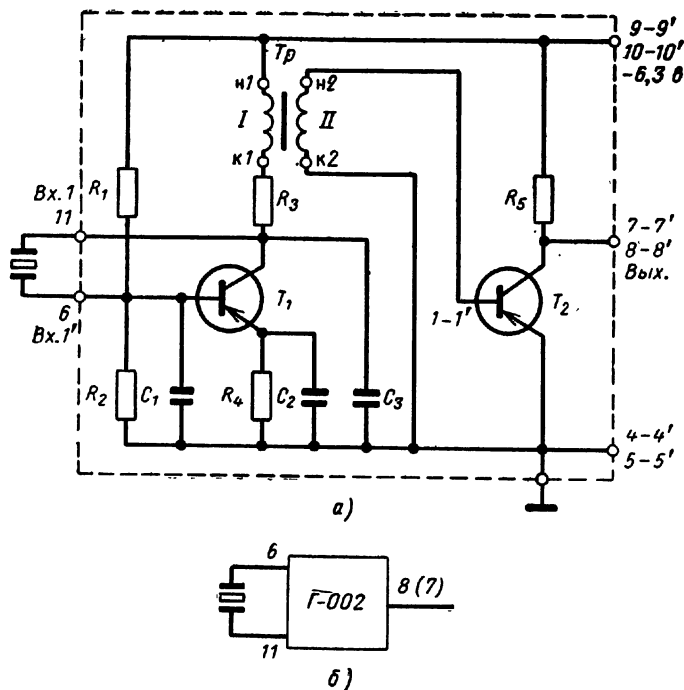


R_1	Резистор СЗ-4-2,7 ком $\pm 10\%$	1-4
R_2, R_3	Резистор СЗ-4-6,8 ком $\pm 10\%$	1-8
D_1	Диод ДММЗВП	1-4
D_2, D_4	Диод ДММЗВП	1-6
D_3	Диод ДММЗВП	2-5
D_5	Диод 2ДМ101А	2-5
D_6	Диод 2ДМ101А	1-6
T_1, T_2	Транзистор 1ТМ305Б	

Рис. V.22. Микромодуль П-025:

а — схема принципиальная; б — условное изображение.

Генератор Г-002 (рис. V.23) рассчитан на работу с внешним кварцевым резонатором на частоту 1 МГц. Генератор выполнен по схеме емкостной трехточки с формирователем импульсов на выходе. Выходные импульсы имеют стандартные для элементов СИПЭ уровни



R_1	Резистор СЗ-4-47 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-6,8 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,8 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-390 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
R_5	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМК-2-М1500-510 $\text{нф} \pm 5\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{smallmatrix} +50\% \\ -20\% \end{smallmatrix}$	1-5
C_3	Конденсатор КМК-2-М75-150 $\text{нф} \pm 5\%$	1-8
Tr	Трансформатор ММТИ-28	
T_1, T_2	Транзистор 1ТМ305Б	

Рис. V.23. Микромодуль Г-002:

а — схема принципиальная; б — условное изображение.

ограничения и длительность около 0,5 мксек. Выход микро модуля Г-002 подключается непосредственно к входам микро модулей В-020 и В-021.

С кварцевым резонатором добротностью свыше 50 000 микро модуль Г-002 обладает сравнительно высокой стабильностью частоты. При изменении напряжения питания на $\pm 10\%$ частота колебаний изменяется менее чем на 1 гц; при смене микро модулей Г-002 частота изменяется менее чем на ± 5 гц, температурный коэффициент частоты равен 0,7 гц/град (предполагается, что кварцевый резонатор подвергается температурным воздействиям вместе с микро модулем Г-002).

Микро модуль Г-002 при подключении внешних конденсаторов можно использовать на других частотах, например на частоте 100 кгц.

Основные характеристики:

частота импульсов с кварцевым резонатором . . .	1 000 кгц
коэффициент разветвления при работе на микро модули В-020	1—3
полярность выходных импульсов	положительная
уровень вершины импульсов	0—0,8 в
длительность импульсов	0,4—0,6 мксек
сопротивление внешней нагрузки относительно источника питания	≥ 300 ом

Из микро модулей СИПЭ может быть построен ряд логических схем.

Схемы совпадения И (логическое умножение) могут быть выполнены для потенциальных сигналов, импульсных сигналов и потенциальных сигналов с импульсными.

Для потенциальных сигналов схема И реализуется на двух последовательно включенных инверторах, а схема совпадения с инверсией — на одиночных инверторах.

Для импульсных сигналов схема совпадения образуется путем последовательного соединения вентилях. Совпадение импульсного сигнала с одним или несколькими потенциальными выполняется отдельным вентилем.

Схема триггера выполняется из инверторов соединенных в кольцо с помощью диодных логических связей (рис. V.24). Управление триггером осуществляется импульсами от вентилях, подаваемыми на вход инвертора с насыщенным триодом. Длительность импульса должна превосходить время задержки сигнала в кольце триггера. Поэтому для запуска триггера на низкочастотных

инверторах могут быть использованы только низко-
частотные вентили.

Для управления триггером с большой емкостной на-
грузкой может быть применена схема запуска от вентил-
ля, в которой запрет на потенциальный вход вентиля
подается с выхода триггера после его переброса. Поло-
жительная обратная связь в этом случае увеличивает
длительность импульса вентиля до времени, необходи-
мого триггеру для изменения состояния.

Схемы счетчика. Двоичный одноканальный счетчик

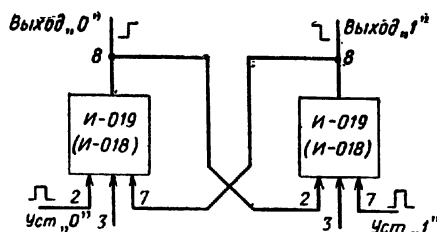


Рис. V.24. Блок-схема триггера.

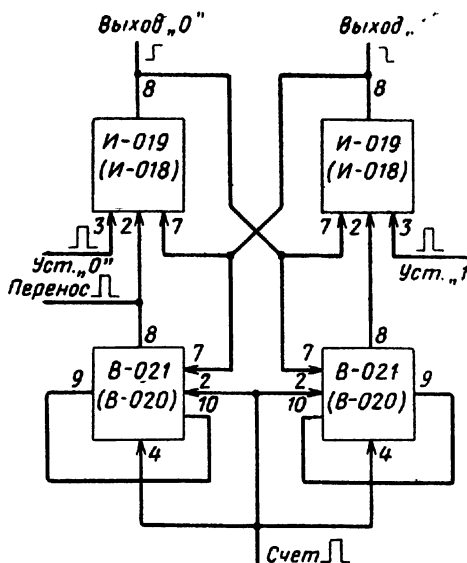


Рис. V.25. Блок-схема разряда счетчика.

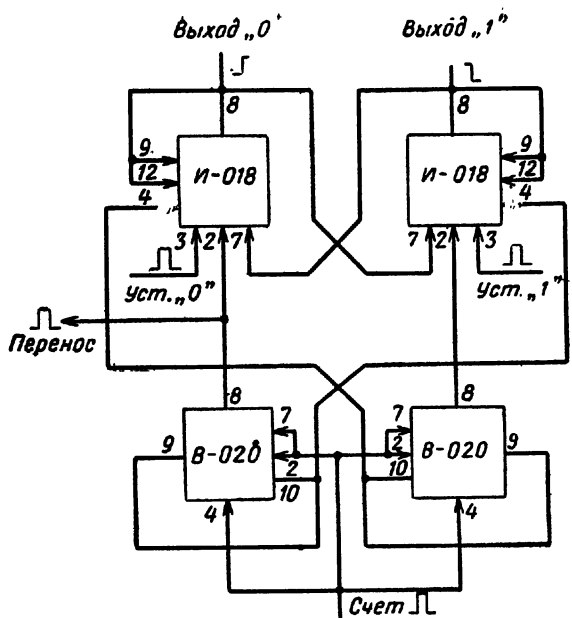


Рис. V.26. Блок-схема разряда счетчика на частоту до 1 Мгц.

образуется из триггера на двух инверторах и двух вентилей с импульсно-потенциальным запретом (рис. V.25). Для использования вентилей В-020 в счетчике на частоте

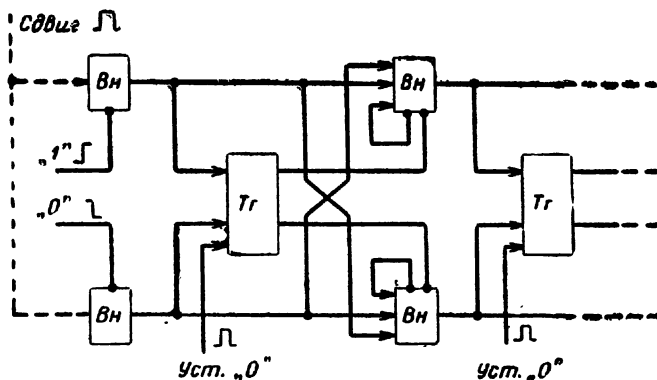


Рис. V.27. Блок-схема сдвигового регистра.

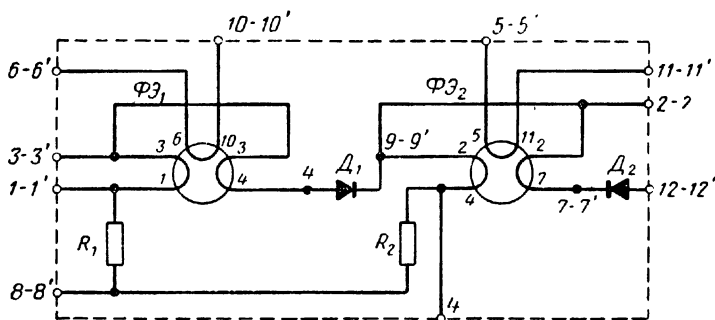
до 1 МГц (рис. V.26) следует уменьшить сопротивления в диодных сборках цепей потенциальных входов вентилях в 1,5—2 раза путем параллельного подключения внешних навесных резисторов или резисторов других микромодулей (И-018, Д-022, П-025).

Схема сдвигового регистра. Однотактный сдвиговый регистр образуется из узлов, состоящих из триггера и двух вентилях с импульсно-потенциальным запретом (рис. V.27). Импульс сдвига передается последовательно по регистру, поскольку один из вентилях каждого разряда находится в состоянии разрешения. Для повышения быстродействия схемы следует использовать параллельное возбуждение всех вентилях.

V.2.3. Микромодули для логических устройств на ферродиодных ячейках

На рис. V.28—V.40 приводятся принципиальные схемы микромодулей — ферродиодные ячейки.

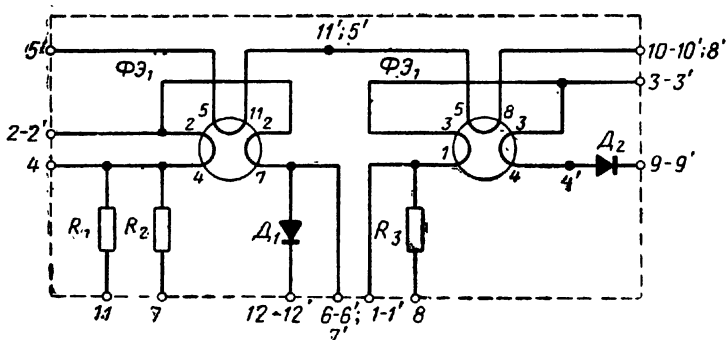
С помощью ферродиодных ячеек можно строить различные функциональные узлы: регистры сдвига на n



R_1	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-201-2	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-201-1	

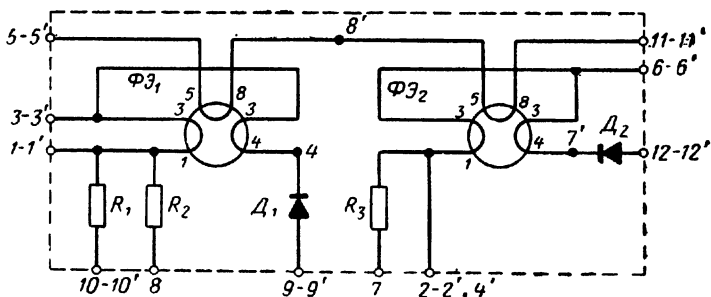
Рис. V.28. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-251.

знаков, узлы логического сложения (схемы ИЛИ), узлы разветвления информации, запрета (схемы НЕТ), логического отрицания (схемы НЕ) прямого и обрат-



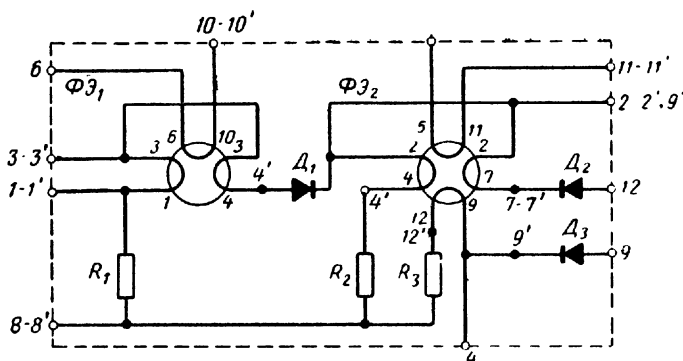
R_1, R_3	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-200 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
Δ_1, Δ_2	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-201-1	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-201-3	

Рис. V.29. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-252.



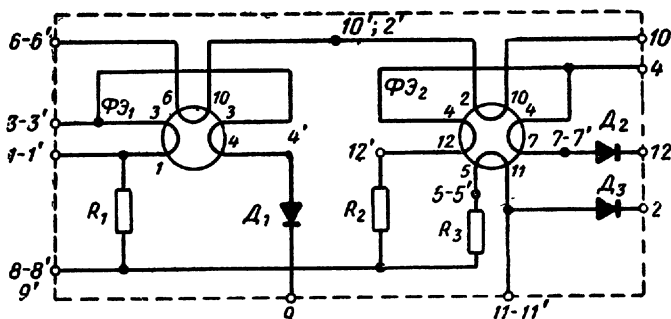
R_1	Резистор СЗ-4-200 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-4
Δ_1, Δ_2	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi Э_1, \Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-201-3	

Рис. V.30. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-253.



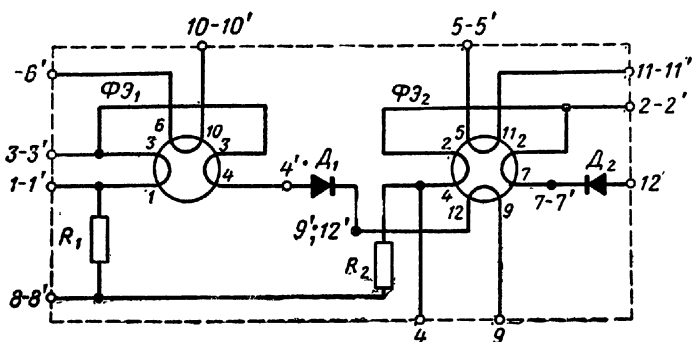
R_1	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
R_2, R_3	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
D_1, D_2, D_3	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-201-2	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-208-1	

Рис. V.31. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-254.



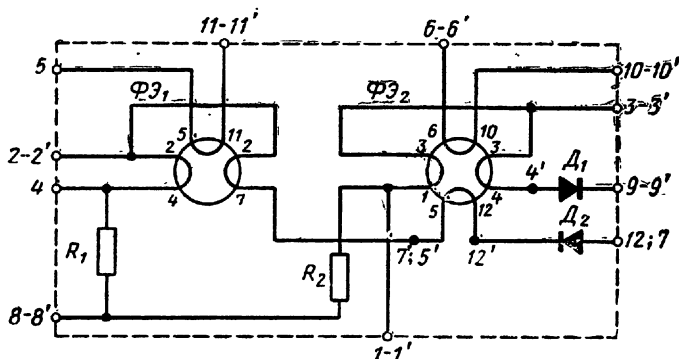
R_1	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
R_2, R_3	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Б	1-6
D_3	Диод 2ДМ502Б	2-5
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-201-2	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-208-13	

Рис. V.32. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-255.



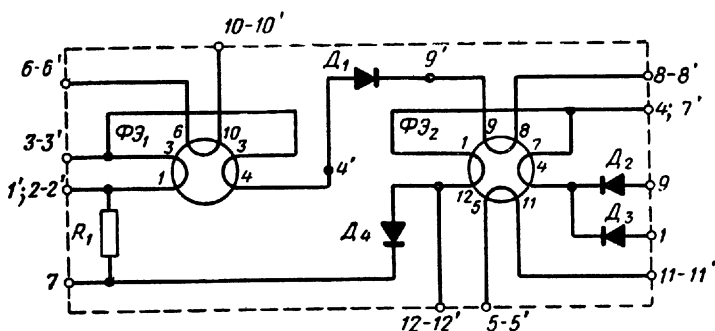
R_1	Резистор СЗ-4-150 $\Omega \pm 5\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-150 $\Omega \pm 5\%$	1-5
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Б1	1-6
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-202-2	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-203-1	

Рис. V.35. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-259.



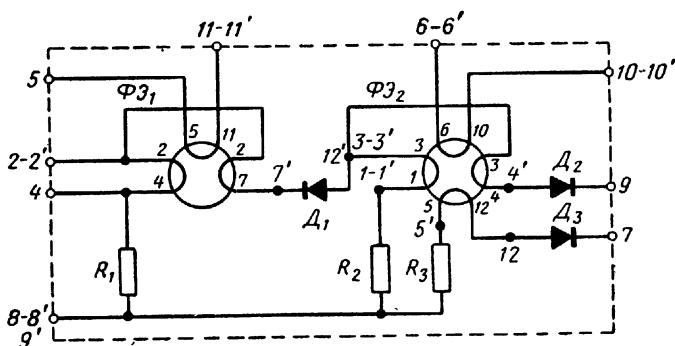
R_1	Резистор СЗ-4-150 $\Omega \pm 5\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-150 $\Omega \pm 5\%$	1-8
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-202-1	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-203-2	

Рис. V.36. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-260.



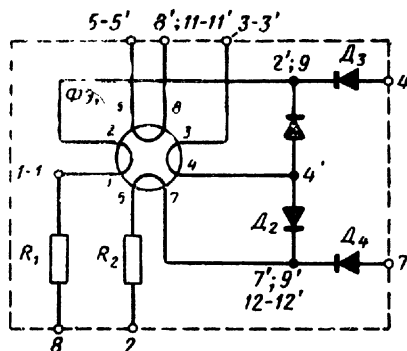
R_1	Резистор СЗ-4-150 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_4$	Диод 2ДМ502Б	1-6
Δ_3	Диод 2ДМ502Б	1-4
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-202-2	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-209-10	

Рис. V.37. Принципиальная схема ферродиюдной ячейки ЯМ-261.



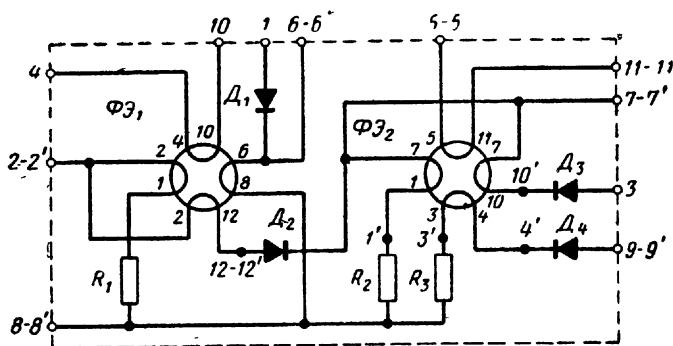
R_1, R_3	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-75 $\text{ом} \pm 5\%$	1-8
$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi Э_1$	Трансформатор ТрНМ-201-1	
$\Phi Э_2$	Трансформатор ТрНМ-208-2	

Рис. V.38. Принципиальная схема ферродиюдной ячейки ЯМ-282.



R_1	Резистор СЗ-4-75 ом $\pm 5\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-75 ом $\pm 5\%$	1-5
$\Delta_1 - \Delta_4$	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi \mathcal{E}_1$	Трансформатор ТрНМ-203-5	

Рис. V.39. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-288.



$R_1 - R_3$	Резистор СЗ-4-75 ом $\pm 5\%$	1-8
$\Delta_1 - \Delta_4$	Диод 2ДМ502Б	1-6
$\Phi \mathcal{E}_1$	Трансформатор ТрНМ-210-18	
$\Phi \mathcal{E}_2$	Трансформатор ТрНМ-208-19	

Рис. V.40. Принципиальная схема ферродиодной ячейки ЯМ-290.

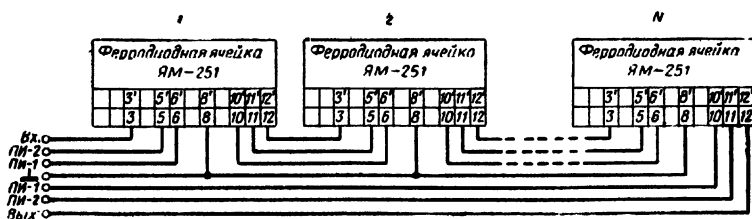


Рис. V.41. Функциональная схема регистра сдвига на N знаков.

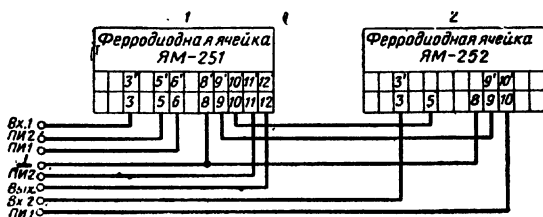


Рис. V.42. Функциональная схема узла логического сложения.

ного кода, узлы, реализующие операцию «отрицание равнозначности» (схемы сложения по модулю 2); узлы логического умножения (схемы И), динамического триггера, объединения на N входов (сборки), совпадения на

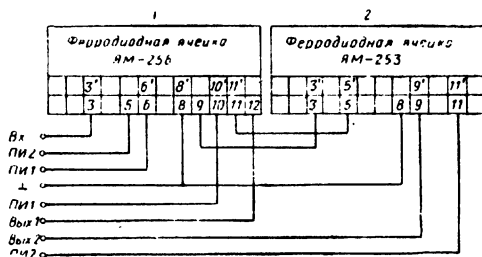


Рис. V.43. Функциональная схема узла разветвления информации на два канала.

N входов, накапливающий сумматор последовательного действия, последовательный двоичный счетчик на n разрядов и др. Примеры функциональных узлов приведены на рис. V.41 ÷ V.47.

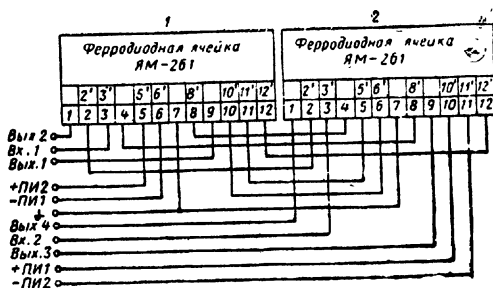


Рис. V.44. Функциональная схема взаимного запрета двух переменных при $m=2$.

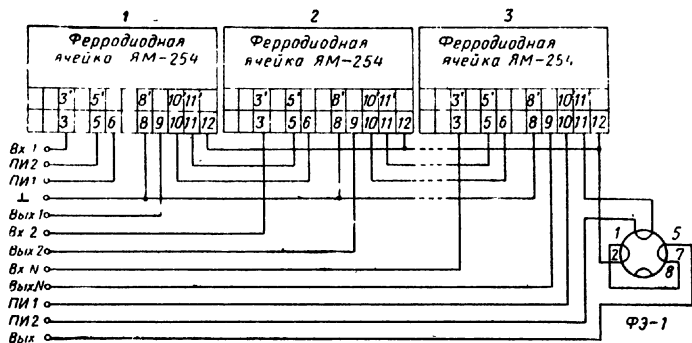


Рис. V.45. Функциональная схема узла объединения на N входов.

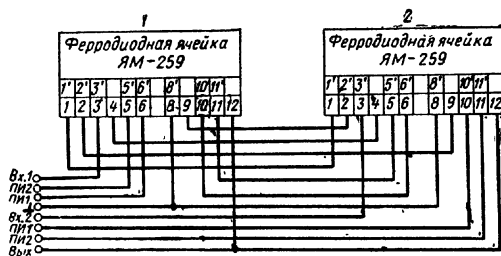


Рис. V.46. Функциональная схема узла сложения по «модулю 2».

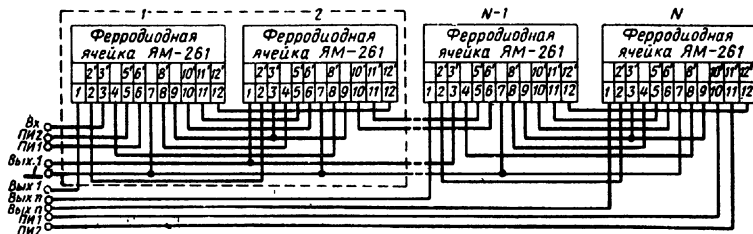


Рис. V.47. Функциональная схема последовательного двоичного счетчика на N разрядов.

V.2.4. Микромодули для импульсных устройств

Для импульсных устройств выпускаются микромодули: видеоусилители, импульсные усилители, ждущие блокинг-генераторы, эмиттерные повторители, мульти-вибраторы, триггеры, вентили-формирователи, схемы совпадения.

Микромодули в зависимости от принципиальной схемы и назначения подразделяются в соответствии с табл. V.7.

Микромодули, предназначенные для использования в импульсных устройствах, могут применяться как отдельно, так и в сочетании с другими микромодулями.

Номинальные напряжения и токи потребления каждого типа микромодуля приведены в табл. V.8. Характеристики некоторых микромодулей приведены в приложении 2. Основные электрические параметры микромодулей для импульсных устройств приведены в табл. V.9—V.11.

При согласовании микромодулей необходимо учитывать электрические параметры входа и выхода, частотные и эксплуатационные характеристики. В качестве согласующих элементов при согласовании микромодулей в систему рекомендуется применять емкостные и омические делители, согласующие трансформаторы, эмиттерные повторители и другие элементы.

Усилитель импульсов ВУ-01 (рис. V.48) используется в цепях импульсных устройств как усилитель с небольшим коэффициентом усиления ($K=2$) и линейной амплитудной характеристикой или как согласующее устройство, обеспечивающее необходимую полярность входных импульсов. В цепях, где необходимо обеспечить $\tau_{\Phi} \leq 0,1$ мксек, а также при последующих каскадах с $R_{\text{вх}} \leq 2$ ком, согласование с последними осуществляется через эмиттерные повторители.

Микромодуль ВУ-01 при работе его в режиме ограничения может быть использован в качестве предварительного усилителя или фазоинвертора для запуска ждущих мультивибраторов и блокинг-генераторов.

Видеоусилители ВУ-03, ВУ-04 (рис. V.49), обладающие по сравнению с предыдущим видеоусилителем

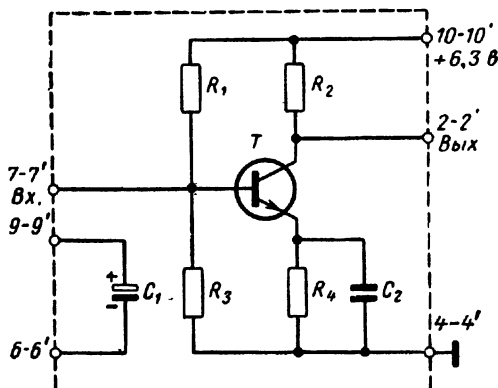
ТАБЛИЦА V.7

Наименование микро модуля	Условное обозначение	Назначение
Видеоусилитель	ВУ-01 ВУ-03 ВУ-04 ВУ-06	Усиление импульсов, $K \geq 2$ Усиление импульсов, $K \geq 4$ Усиление импульсов, $K \geq 4$ Усиление больших напряжений $U_{вх} = 2 \div 4$ в
Усилитель импульсный	УИ-01 УИ-02 УИ-06 и УИ-07	Формирование импульсов положительной и отрицательной полярности с $U_{вх} \geq 2,7$ в Предварительный усилитель Усиление импульсов отрицательной полярности для запуска блокинг-генератора
Ждущий блокинг-генератор	БЖ-00 БЖ-01 БЖ-02 БЖ-03	Генерирование импульсов отрицательной и положительной полярности длительностью 4 мксек Генерирование импульсов отрицательной и положительной полярности длительностью 2,5 мксек Генерирование импульсов отрицательной и положительной полярности длительностью 0,63 мксек Генерирование импульсов отрицательной и положительной полярности длительностью 1 мксек
Мультивибратор ждущий*	МЖ-00 МЖ-01 } МЖ-02 } МЖ-07 } МЖ-08 }	Формирование импульсов длительностью 10 мксек Формирование импульсов длительностью 10 мксек и более Формирование импульсов длительностью 2 мксек и более
Триггер*	ТС-00 ТС-03	Формирование импульсов с частотой повторения до 200 кГц Формирование импульсов с частотой повторения до 100 кГц
Вентиль формирования	ВФ-04 ВФ-05 ВФ-06	Временное селектирование при совпадении двух положительных импульсов или импульса и положительного уровня напряжения Временное селектирование трех отрицательных импульсов или одного (двух) импульсов с двумя (одним) уровнем напряжения Временное селектирование при совпадении трех положительных импульсов или одного (двух) импульсов с двумя (одним) уровнем напряжения
Схема совпадений	СС-00, СС-01	Временное селектирование трех импульсных и одного потенциального сигналов

* Наименование мультивибраторов МЖ-01, МЖ-02, МЖ-07, МЖ-08, и триггеров ТС-00, ТС-03 условно, так как эти микро модули в действительности являются только плечами ждущих мультивибраторов и триггеров.

ТАБЛИЦА V.8

Условное обозначение микромодуля	Номинальное значение сопротивления, Ω	Максимальный ток потребления, мА	Условное обозначение микромодуля	Номинальное значение сопротивления, Ω	Максимальный ток потребления, мА
ВУ-01	+6,3	0,7	МЖ-00	-6,3	7,5
ВУ-03	-6,3	4,0		+1,2	0,7
ВУ-04	+6,3	4,0	МЖ-01	-6,3	7,0
ВУ-06	+12,6		МЖ-02	-6,3	1,5
УИ-01	-6,3	1,0		+1,2	0,75
	+0,6	0,1	МЖ-07	-6,3	8,0
УИ-02	-12,6	4,8		+1,2	1,3
	+0,6		МЖ-08	-6,3	6,0
УИ-06	-6,3	0,15		+1,2	0,6
УИ-07	-6,3	0,8	ТС-00	+6,3	10,0
БЖ-00	-6,3	0,2		-1,2	10,0
	+1,2	0,1	ТС-03	-6,3	12,0
БЖ-01	-6,3	0,2		+1,2	0,5
	+1,2	0,1	ВФ-04	-6,3	7,5
БЖ-02	-6,3	0,5	ВФ-05	-6,3	2,5
БЖ-03	-6,3	0,5	ВФ-06	-6,3	2,5



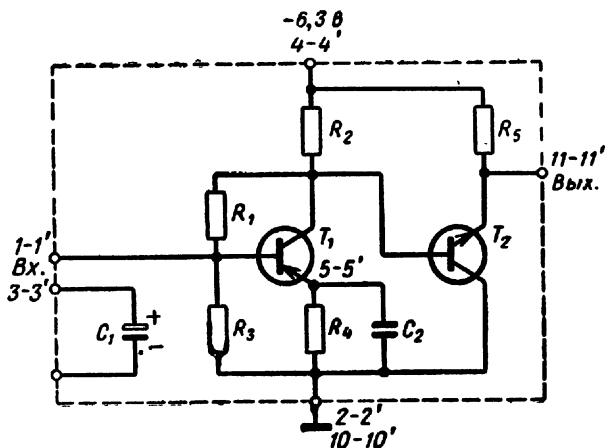
R_1	Резистор СЗ-4-18 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-4,7 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-220 $\text{ом} \pm 10\%$	1-8
C_1	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-М1500-330 $\text{нф} \pm 10\%$	1-8
T	Транзистор ТМ-10Д	

Рис. V.48. Принципиальная схема микромодуля ВУ-01.

ТАБЛИЦА V.9

Тип микро-модуля	Условное обозначение	Входные параметры					Выходные параметры						
		$U_{вх}, в$	$\tau_{вх}, мксек$	$F, кГц$	Поляр-ность	$R_{вх}, ком$	K	Поляр-ность	$U_{вых}, в$	$\Delta f, кГц$	$\tau_{ф}, мксек$	$R_{н, ком}$	$C_{н, пф}$
Видеоусили-тели	ВУ-01	0,5	5	2	любая	≥ 2	≥ 2	соответ-ствует входу	—	$\geq 3,5$	$\leq 0,2$	≥ 2	≤ 100
	ВУ-03	0—0,4	0,3—500	0,5—150	—	$\geq 1,5$	≥ 4	+	—	≥ 2	$\leq 0,15$	≥ 1	≤ 100
	ВУ-04	0—0,4	0,3—500	0,5—150	+	≥ 1	≥ 4	—	—	≥ 2	$\leq 0,2$	≥ 1	≤ 100
	ВУ-06	2—4	0,5—1	≤ 10	+	$\geq 0,45$	$\geq 2,5$	—	—	—	—	$\geq 1,2$	—
Усилитель импульсный	УИ-01	1,5	2,5	200	—	—	—	+	$\geq 2,7$	—	$\leq 0,3$	—	—
	УИ-02	≤ 2	$1,0 \pm 10\%$	100	+	—	—	—	$\geq 3,0$	—	—	—	—
Усилители запуска бло-кинг-генера-тора	УИ-06	2—10	0,1—10	125	—	≥ 3	—	+	≥ 8	—	—	—	—
	УИ-07	2—10	0,1—10	125	—	≥ 3	—	+	≥ 5	—	—	—	—
					—	≥ 3	—	+	$\geq 4,5$	—	—	—	—

большим коэффициентом усиления ($K > 4$) и лучшими нагрузочными характеристиками ($R_H \geq 1000 \text{ ом}$), предназначены для усиления импульсов в цепях импульсных устройств, с нелинейными амплитудными характеристиками.



			ВУ-03	ВУ-04
R_1	Резистор СЗ-4	1-8	18 $\text{ком} \pm 10\%$	18 $\text{ком} \pm 10\%$
R_2	Резистор СЗ-4	1-5	1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1,5 $\text{ком} \pm 10\%$
R_3	Резистор СЗ-4	1-4	4,7 $\text{ком} \pm 10\%$	4,7 $\text{ком} \pm 10\%$
R_4	Резистор СЗ-4	1-8	180 $\text{ом} \pm 10\%$	150 $\text{ом} \pm 10\%$
R_5	Резистор СЗ-4	1-8	1 $\text{ком} \pm 10\%$	1 $\text{ком} \pm 10\%$
C_1	Конденсатор КОПМ-15	1-4	3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$	3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$
C_2	Конденсатор КМК-2 М750	1-8	220 $\text{пф} \pm 10\%$	470 $\text{пф} \pm 10\%$
T_1	Транзистор		ТМ-4А	ТМ-10Д
T_2	Транзистор		ТМ-10Д	ТМ-4А

Рис. V.49. Принципиальная схема микромодуля ВУ-03. Для ВУ-04 транзистор T_1 типа $n-p-n$, T_2 типа $p-n-p$ и $E_K = +6,3 \text{ в}$.

Микромодуль ВУ-03 при работе его в режиме ограничения может быть использован в качестве предварительного усилителя для запуска ждущих мультивибраторов с положительной полярностью входных импульсов.

Микромодуль ВУ-04 при работе его в режиме ограничения ($U_{\text{вх}} \geq 0,5 \text{ в}$, $U_{\text{вых}} \geq 2 \text{ в}$) может быть использо-

Тип микромодуля	Условное обозначение	Входные параметры				
		$U_{вх}, в$	$\tau, мксек$	$F_{max}, кГц$	Полярность	$R_{вх}, ком$
Ждущие блокинг-генераторы с усилителем запуска УИ-06	БЖ-00	2—10	0,1—10	70	+	≥ 3
	БЖ-01	2—10	0,1—10	110	+	≥ 3
Ждущие блокинг-генераторы с усилителем запуска УИ-07	БЖ-02	2,5—10	0,1—10	125	+	—
	БЖ-03	2,5—10	0,1—10	125	+	—
Ждущие мульти-вибраторы	МЖ-00	3—6	$\geq 0,5$	50	+	≥ 1
	МЖ-01}	3—6	$\geq 0,5$	60	+	≥ 1
	МЖ-02}				+	
	МЖ-07}	3—6	$\geq 0,2$	200	+	≥ 1
	МЖ-08}				+	
Триггер	ТС-00	2,8—4,5	≥ 1	200	—	—
	ТС-03	2,7—5,5	$\geq 0,5$	100	+	$\geq 0,3$

ван в качестве предварительного усилителя для запуска ждущих блокинг-генераторов БЖ-00, БЖ-01, работающих со скважностью импульсов $Q > 10$ и требующих $U_{зап} = 2 в$.

Видеоусилитель, больших напряжений ВУ-06 (рис. V.50) вырабатывает импульс отрицательной полярности с амплитудой 5—7 в и может быть использован в качестве предварительного усилителя для запуска ждущих блокинг-генераторов БЖ-00, БЖ-01, при работе которых со скважностью $Q \leq 10$ требуется амплитуда запуска, равная 2—5 в, а также для запуска ждущих мультивибраторов с отрицательной полярностью входных импульсов.

Видеоусилитель ВУ-06 может быть применен для запуска различных ждущих импульсных генераторов, имеющих $R_{вх} \geq 1,2 ком$ и срабатывающих при большой амплитуде входных импульсов $U_{вх} = 5 \div 7 в$ отрицательной полярности.

Предварительный усилитель УИ-02 (рис. V.51) при работе его в режиме $E_б = +0,6 в$ и $E_к = -12,6 в$ рекомен-

ТАБЛИЦА V.10

Выходные параметры						
Полярность	$U_{\text{вых}}, \text{в}$	$\tau_{\text{вых}}, \text{мксек}$	$\tau_{\text{ф}}, \text{мксек}$	$\tau_{\text{с}}, \text{мксек}$	$R_{\text{н}}, \text{ом}$	$C_{\text{н}}, \text{пф}$
+	$\geq 4,5$ при $Q > 10$	3—5,4	$\leq 0,5$	≤ 1	300	750
—	$\geq 3,5$ при $Q < 10$					
+	$\geq 4,5$ при $Q > 10$	1,6—3,1	$\leq 0,5$	≤ 1	300	100
—	$\geq 3,5$ при $Q < 10$					
+	≥ 4 при $F_{\text{н}} \leq 50 \text{ кГц}$	0,4—0,8	$\leq 0,1$	$\leq 0,4$	300	100
—	≥ 3 при $F_{\text{н}} > 50 \text{ кГц}$					
+	≥ 4 при $F_{\text{н}} \leq 50 \text{ кГц}$	0,8—1,3	$\leq 0,1$	$\leq 0,4$	300	100
—	≥ 3 при $F_{\text{н}} > 50 \text{ кГц}$					
—	≥ 3	8—12,5	≤ 2	≤ 2	4 000	150
—	$\geq 3,3$	8—12,5		≤ 2	4 000	150
—	≥ 4	$1,6 \pm 20\%$	$\leq 0,3$	$\leq 0,5$	2 000	—
+	≥ 4 (перепад напряж.)	—	$\leq 1,3$	$\leq 0,6$	3 000	—
—	$\geq 4,5$ (перепад напряж.)	—	$\leq 0,5$	≤ 3	≥ 700	—

дуются использовать в выходных цепях импульсных устройств для получения импульсов положительной полярности с амплитудой до 8 в, а также для запуска ждущих мультивибраторов и триггеров по положительным входам.

Использование микромодулей УИ-02 в усилителях записи и считывания, рассмотрено в разделе V.2.10.

Для получения необходимых электрических характеристик ждущих блокинг-генераторов рекомендуется запуск микромодулей БЖ-00, БЖ-01 (рис. V.52 и V.53) производить через усилитель запуска УИ-06 (рис. V.54), а запуск микромодулей БЖ-02, БЖ-03 (рис. V.55 и V.56) производить через усилитель запуска УИ-07 (рис. V.57).

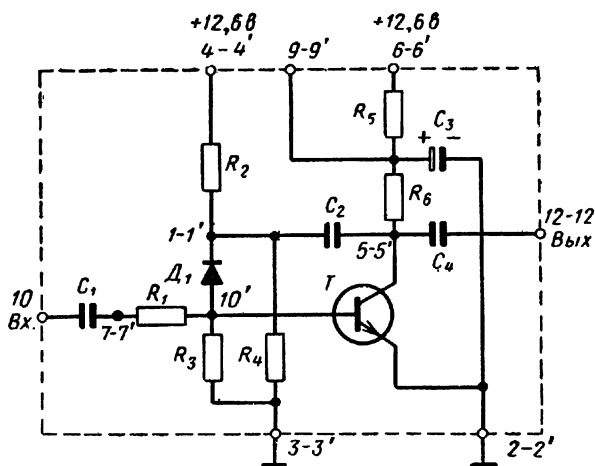
Для получения ждущих мультивибраторов микромодули МЖ-01 и МЖ-02 (рис. V.58 и V.59), МЖ-07 и МЖ-08 (рис. V.60 и V.61) соединять попарно (рис. V.62). Для получения триггеров соединяются попарно микромодули ТС-00 и ТС-03 (рис. V.63 и V.64). Схемы их соединения приведены на рис. V.65. На рис. V.66 приведена схема микромодуля МЖ-00.

ТАБЛИЦА V.11

Тип микромодуля	Условное обозначение	Входные параметры				Выходные параметры				Управляющее напряжение, в	
		$U_{вх}, \text{в}$	$F, \text{кГц}$	$\tau_{вх}, \text{мксек}$	Полярность	$U, \text{в}$	$\tau, \text{мксек}$	$\tau_{ф}, \text{мксек}$	заявляемое	отключаемое	
Вентили-формирователи	ВФ-04	2—5	5	0,5—9	+	≥ 4	0,7—9,5	—	—	—	
	ВФ-05	3—5	5	0,5—9	—	$\geq 3,5$	$\leq (0,8; 10)^*$	—	—	—	
	ВФ-06	3—5	5	0,5—9	+	$\geq 3,2$	$\leq (0,8; 10)^*$	—	—	—	
Схема совпадения положительных импульсов	СС-00	3	200	1	+	$\geq 1,5$	$\leq 2,5$	$\leq 0,2$	—	+0,5	
					—	$\leq 0,3$	—	—	+4,5	—	
Схема совпадения отрицательных импульсов	СС-01	3	200	1	—	$\geq 1,5$	$\leq 2,5$	$\leq 0,2$	—	—0,5	
					—	$\leq 0,3$	—	—	—4,5	—	

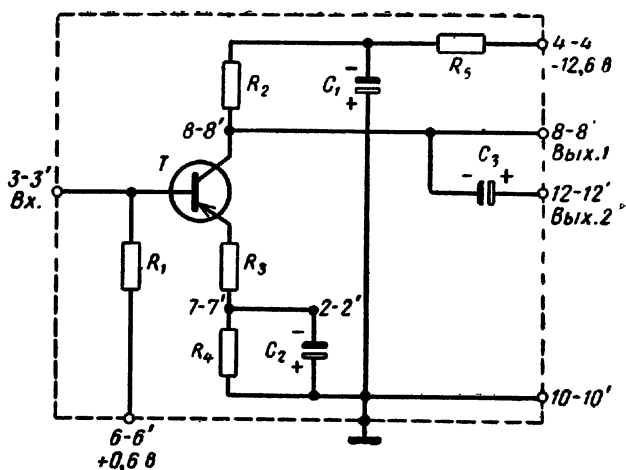
* $\tau \leq 0,8$ мксек при $\tau_{вх} = 0,5$ мксек. $\tau \leq 10$ мксек при $\tau_{вх} = 9$ мксек.

* $\tau \leq 0,8 \text{ мксек}$ при $\tau_{вх} = 0,5 \text{ мксек}$, $\tau \leq 10 \text{ мксек}$ при $\tau_{вх} = 9 \text{ мксек}$.



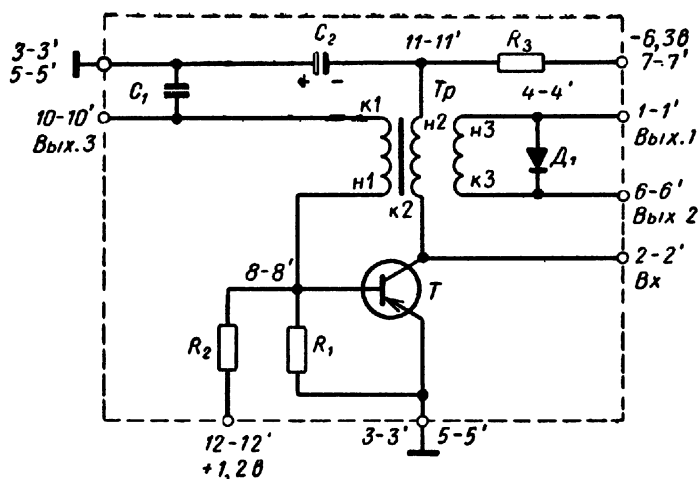
R_1	Резистор СЗ-4-200 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-4,7 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-12 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_4	Резистор СЗ-4-8,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_5	Резистор СЗ-4-560 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_6	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМК-2-Н90-0,022 $\text{мкф} \begin{matrix} +80\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-Н90-0,022 $\text{мкф} \begin{matrix} +80\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
C_3	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-8
C_4	Конденсатор КМК-2-Н90-0,022 $\text{мкф} \begin{matrix} +80\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-8
D_1	Диод ДММЗВП	1-4
T	Транзистор ТМ-10Б	

Рис. V.50. Принципиальная схема видеоусилителя микромодуля ВУ-06,



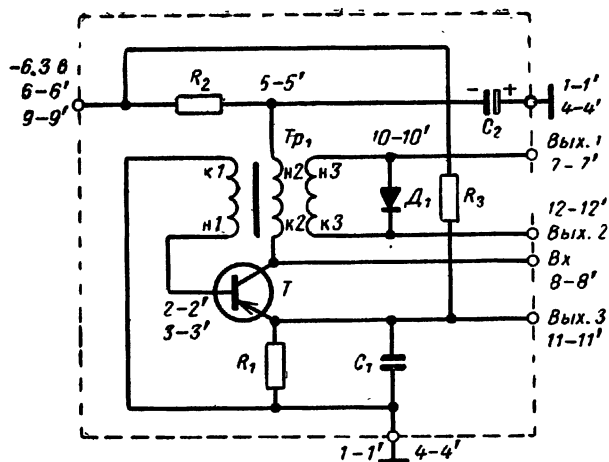
R_1	Резистор СЗ-4-5,1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 5\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-100 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КОПМ-3,3 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-4
C_2	Конденсатор КОПМ-10 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-5
C_3	Конденсатор КОПМ-3,3 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-5
T	Транзистор ТМ-4В	

Рис. V.51. Принципиальная схема микромодуля УИ-02.



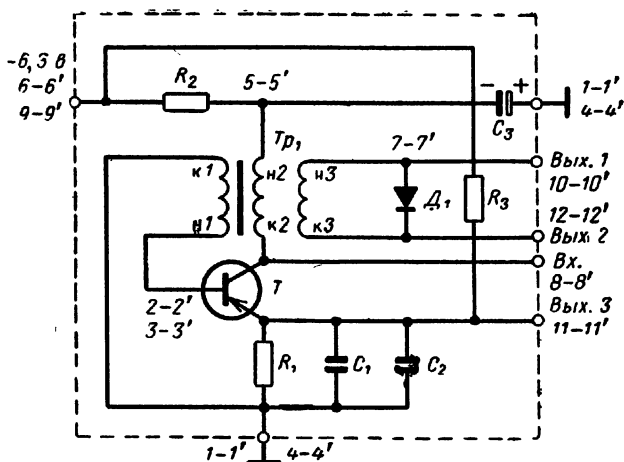
R_1	Резистор СЗ-4-330 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-680 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КМПИМ-0,01 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-8
C_2	Конденсатор КОПИМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-5
D_1	Диод 2ДМ502Г	1-6
T	Транзистор ТМ-5Г	
Tp	Трансформатор импульсный ММТИ-13-П	

Рис. V.52. Принципиальная схема микромодуля БЖ-00.



R_1	Резистор СЗ-4-100 ом $\pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-1 ком $\pm 10\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-2,2 ком $\pm 10\%$	1-8
C_1	Конденсатор КМПМ-0,01 мкф $\pm 20\%$	1-8
C_2	Конденсатор КОПМ-15-3,3 мкф $\pm 10\%$	1-5
D_1	Диод 2ДМ502Г	1-6
T	Транзистор ТМ-4Д	
Tp_1	Трансформатор ММТИ-4-II	

Рис. V.55. Принципиальная схема микромодуля БЖ-02.



R_1	Резистор СЗ-4-100 $\text{ом} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
C_1, C_2	Конденсатор КМПМ-0,01 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-8
C_3	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-5
Δ_1	Диод 2ДМ502Г	1-6
T	Транзистор ТМ-4Д	
Tp_1	Трансформатор импульсный ММТИ-4-И	

Рис. V.56. Принципиальная схема микромодуля БЖ-03.

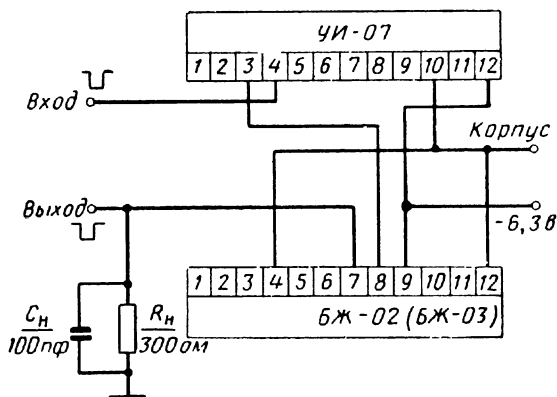
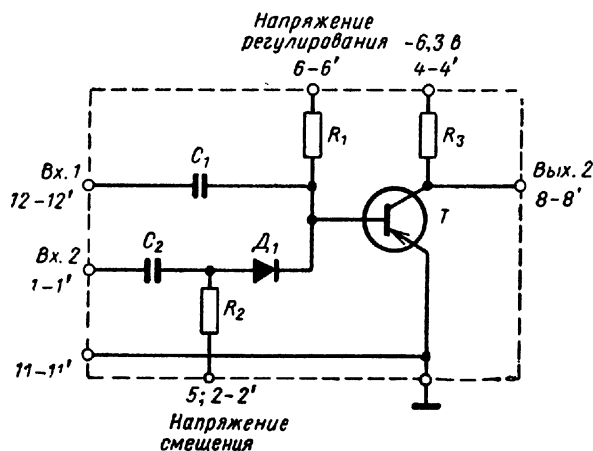
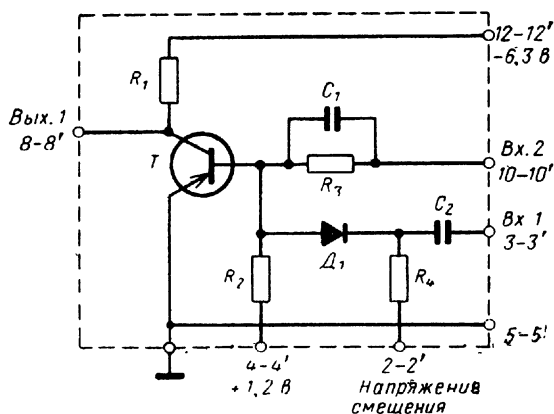


Рис. V.57. Функциональная схема запуска блокинг-генераторов БЖ-02 и БЖ-03.



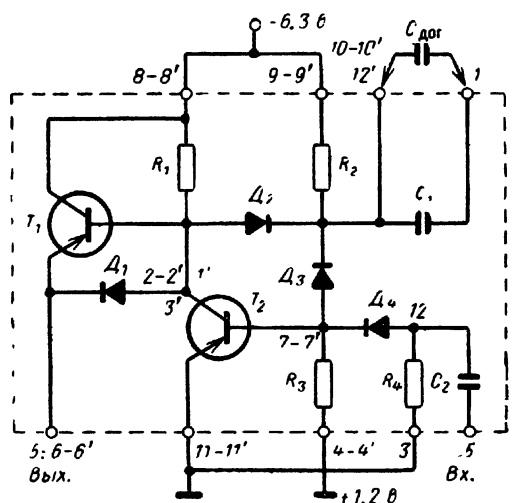
R_1	Резистор СЗ-4-15 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
C_1, C_2	Конденсатор КМПМ-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
D_1	Диод 2ДМ502Б	1-6
T	Транзистор ТМ-5В	

Рис. V.58. Принципиальная схема микромодуля МЖ-01.



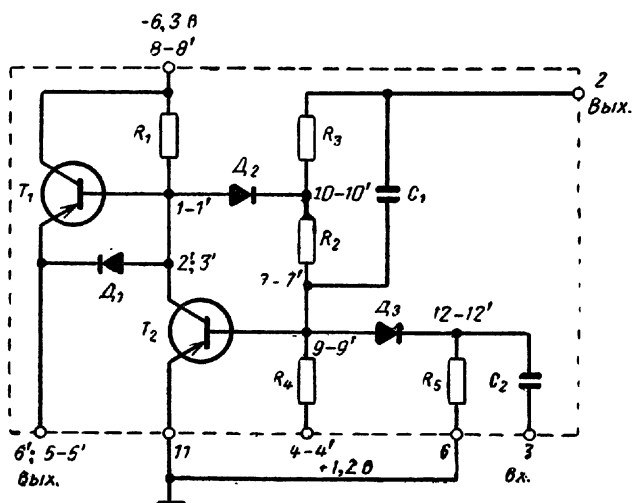
R_1	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-3,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
D_1	Диод 2ДМ502Б	1-6
C_1	Конденсатор КМК-2-М1500-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-М-1500-510 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
T	Транзистор ТМ-5В	

Рис. V.59. Принципиальная схема микромодуля МЖ-02.



R_1	Резистор СЗ-4-1,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор С5-6-2,2 $\text{ком} \pm 1\%$	1-4
R_3, R_4	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМПИМ-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-М750-200 $\text{нф} \pm 10\%$	1-8
$D_1 - D_4$	Диод ДММЗВП	1-6
T_1, T_2	Транзистор ТМ-4А	

Рис. V.60. Принципиальная схема микромодуля МЖ-07.



R_1, R_5	Резистор СЗ-4-1,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМК-2-М750-150 $\text{нф} \pm 10\%$	1-8
C_2	Конденсатор КМК-2-М750-200 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
$D_1 - D_3$	Диод ДММЗВП	1-6
T_1, T_2	Транзистор ТМ-4А	

Рис. V.61. Принципиальная схема микромодуля МЖ-08.

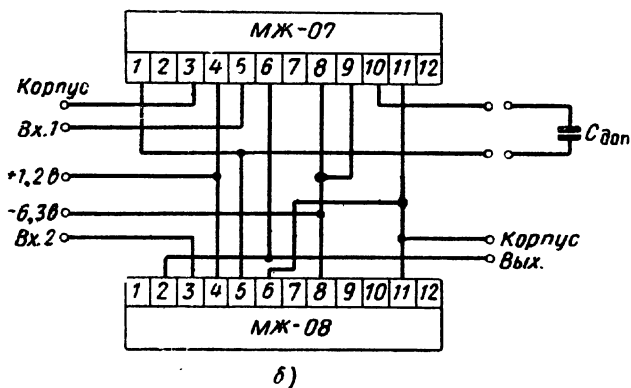
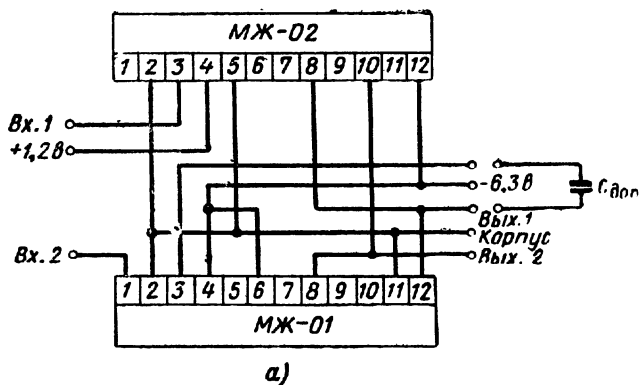
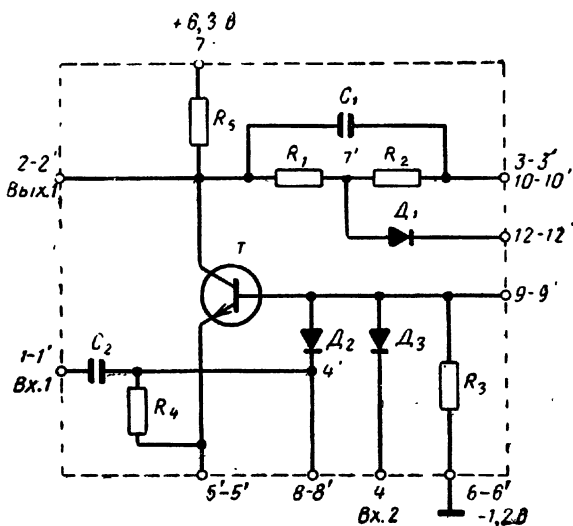


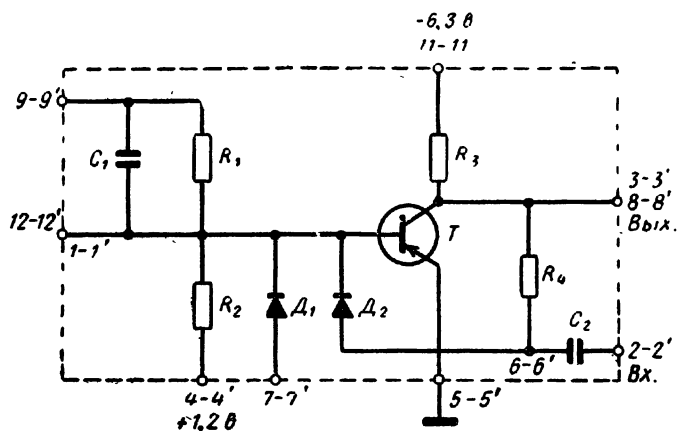
Рис. V.62. Функциональные схемы ждущих мультивибраторов:

а — длительность импульса 10 мксек и более; б — длительность импульса от 2 до 10 мксек.



R_1	Резистор СЗ-4-4,3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-620 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-4,3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-820 $\text{ом} \pm 10\%$	1-8
C_1	Конденсатор КМК-2-М750-430 $\text{нф} \pm 5\%$	1-5
C_2	Конденсатор КМК-2-М750-270 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
D_1, D_2, D_3	Диод ДММЗВП	1-6
T	Транзистор ТМ-ЗГ	

Рис. V.63. Принципиальная схема микромодуля ТС-00.



R_1, R_2	Резистор СЗ-4-5,1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-5,1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КМК-2М1500-330 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2М1500-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-5
D_1, D_2	Диод 2ДМ-101А	1-6
T	Транзистор Т-2В	

Рис. V.64. Принципиальная схема микро модуля ТС-03.

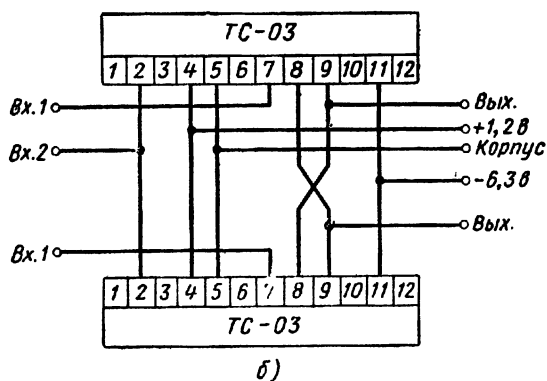
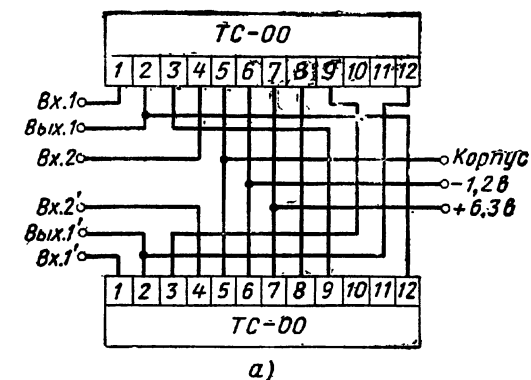
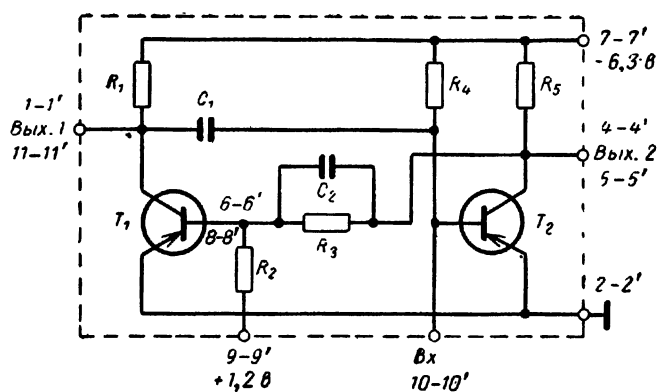


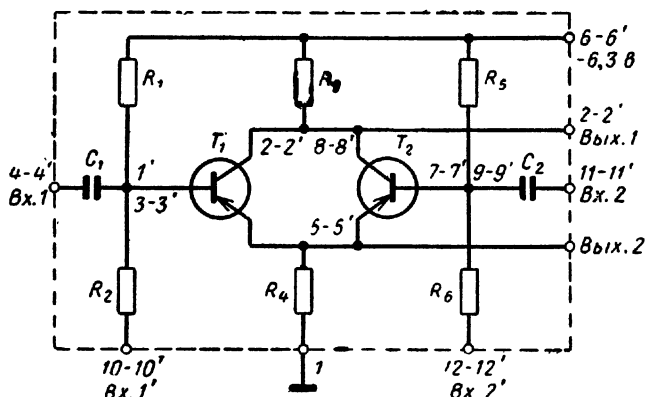
Рис. V.65. Функциональные схемы триггеров:
 а — на частоту 200 кГц; б — на частоту 100 кГц.



R_1	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-3,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-15 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-1,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМПИМ-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-М1500-510 $\text{нф} \pm 5\%$	1-5
T_1, T_2	Транзистор ТМ-5В	

Рис. V.66. Принципиальная схема микромодуля МЖ-00.

Вентиль-формирователь ВФ-04 (рис. V.67) используется в двух режимах: в режиме А — сигнал снимается с выхода 1, эмиттерное сопротивление R_4 при этом не используется (вывод 5 микромодуля «заземляется»); в режиме Б — сигнал снимается с выхода 2, контакты 6 и 8 микромодуля соединяются между собой внешней перемычкой.



R_1, R_5	Резистор СЗ-4-20 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2, R_6	Резистор СЗ-4-10 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3, R_4	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КМК-2-Н30-0,01 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-4
C_2	Конденсатор КМК-2-Н30-0,01 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
T_1, T_2	Транзистор ТМ-2Д	

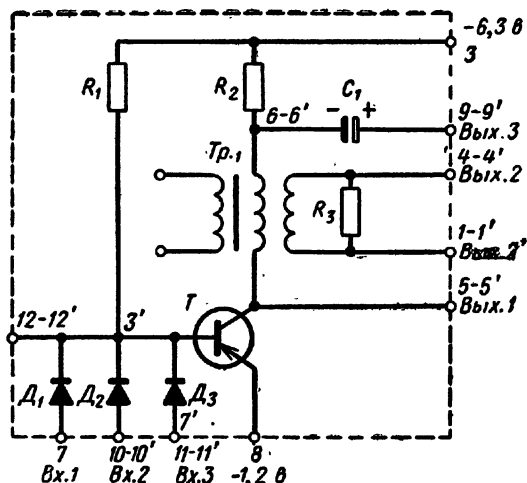
Рис. V.67. Принципиальная схема микромодуля ВФ-04.

Достоинством работы схемы в режиме А является то, что амплитуда выходных сигналов не зависит от величины амплитуды входных сигналов (в рабочем интервале амплитуд входных сигналов). С другой стороны, в режиме Б схема обладает лучшей нагрузочной способностью и лучшими частотными свойствами.

При длительности входных сигналов до 50 мксек используются входы 1 и 2 микромодуля. При больших длительностях входных сигналов используются входы 3-3' и 9-9'.

Зависимости основных выходных параметров микро-модуля от параметров входных сигналов и параметров нагрузки приведены в приложении 2.

Вентиль-формирователь ВФ-05 (рис. V.68) может быть использован в режимах А и Б.



R_1	Резистор СЗ-4-4,3 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-4
$D_1 - D_3$	Диод ДММ-3ВП	1-6
Tr_1	Трансформатор ММТИ-2-III	
T	Транзистор ТМ-4В	

Рис. V.68. Принципиальная схема микромодуля ВФ-05.

Режим А: выходной сигнал снимается с трансформатора, цепь $R_2 C_1$ используется как фильтр развязки в коллекторной цепи, вывод 9-9' конденсатора C_1 соединяется с «плюсом» источника питания.

Режим Б: выходной сигнал снимается с сопротивления R_2 , конденсатор C_1 может использоваться как переходная емкость, выводы 5-5' и 6-6' первичной обмотки трансформатора замыкаются накоротко внешней перемычкой.

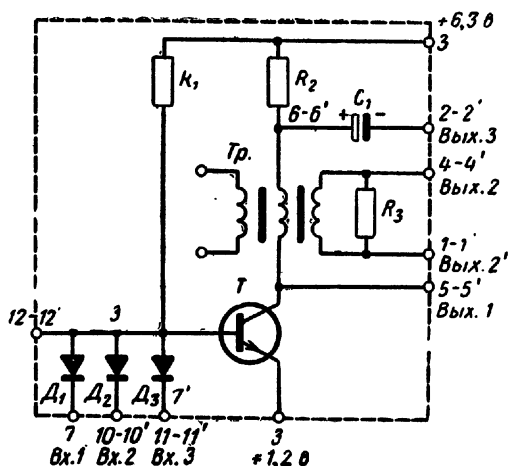
В режиме А возможно получение на выходе импульсов любой полярности. Работа схемы в режиме А разрешается при длительности импульсов до 10 мксек. При больших длительностях сигналов необходимо использовать режим Б.

Зависимости основных параметров микромодуля от параметров входных сигналов и параметров нагрузки представлены в приложении 2.

Вентиль-формирователь ВФ-06 (рис. V.69) также используется в двух режимах:

режим А — выходной сигнал снимается с трансформатора, цепь R_2C_1 используется как фильтр развязки в коллекторной цепи, вывод 2-2' конденсатора C_1 соединяется с «минусом» источника питания;

режим Б — выходной сигнал снимается с сопротивления



R_1	Резистор СЗ-4-4,3 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 30\%$	1-5
D_1, D_2, D_3	Диод ДММЗВП	1-6
T_p	Трансформатор ММТИ-2-III	
T	Транзистор ТМ-3Д	

Рис. V.69. Принципиальная схема микромодуля ВФ-06.

ния R_2 , конденсатор C_1 может использоваться как переходная емкость, выводы 5-5' и 6-6' первичной обмотки трансформатора замыкаются накоротко внешней перемычкой.

Режим А используется для получения любой полярности выходных импульсов длительностью до 10 мксек.

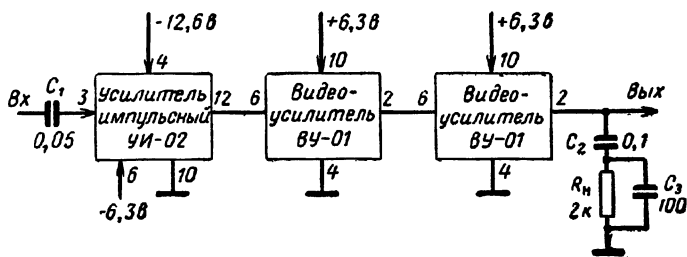


Рис. V.70. Блок-схема и основные параметры функциональной группы № 1.

Входные параметры: полярность импульсов отрицательная; амплитуда импульсов 0,03—0,25 в; длительность импульсов 0,3—1 мксек; максимальная частота повторения ≤ 200 кГц; длительность фронта $\leq 0,05$ мксек; входное сопротивление ≥ 1 ком.

Выходные параметры: полярность импульсов положительная, коэффициент усиления 30—40; длительность импульса 0,5—1,2 мксек; сопротивление нагрузки 2 ком; емкость нагрузки 100 пф.

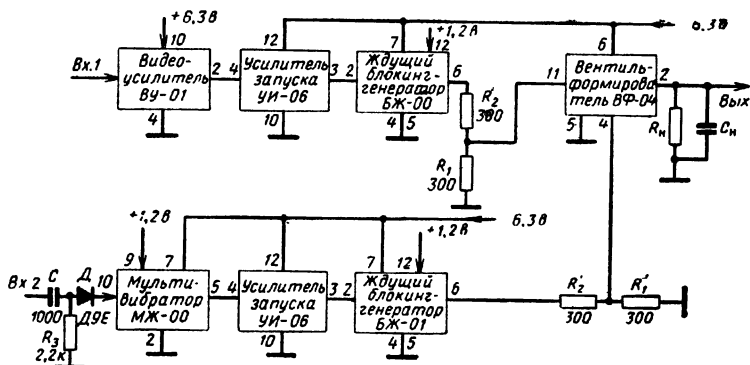


Рис. V.71. Блок-схема и основные параметры функциональной группы № 2.

Входные параметры: полярность импульсов положительная; амплитуда импульсов на входе 1 $\geq 1,2$ в; амплитуда импульсов на входе 2 3—6 в; длительность импульсов 0,5—10 мксек; частота повторения 5—10 кГц; входное сопротивление ≥ 2 ком.

Выходные параметры: полярность импульсов отрицательная; амплитуда импульсов $\geq 3,5$ в; длительность импульсов 2,5 мксек $\pm 25\%$ $\pm 35\%$, сопротивление выхода 1 ком.

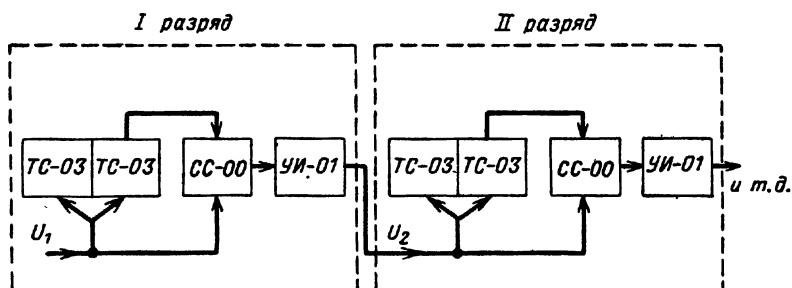
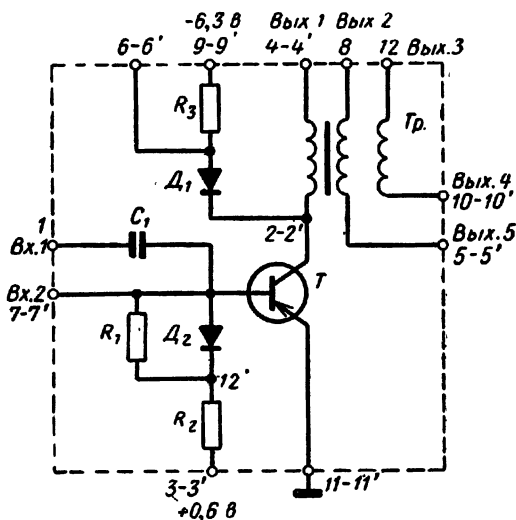


Рис. V.72. Блок-схема функциональной группы № 3.

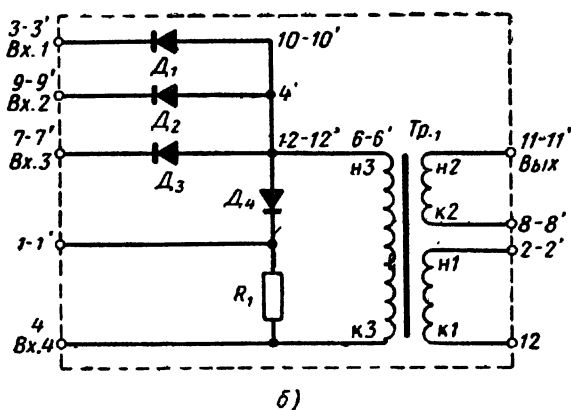
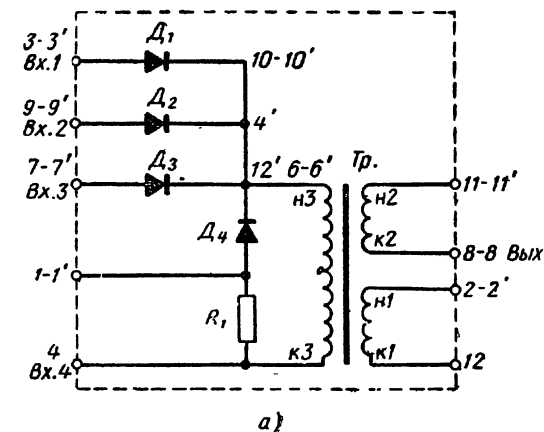


R_1	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-68 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-2,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМК-2-M1500-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-8
D_1, D_2	Диод 2ДМ101А	1-6
T	Транзистор ТМ-2Б	
T_p	Трансформатор ММТИ-5-II	

Рис. V.73. Усилитель импульсный УИ-01.

При длительностях больше 10 мксек или при передаче уровней напряжения используется режим Б.

Зависимости основных параметров микромодуля от входных сигналов и нагрузки приведены в приложении 2.



R_1	Резистор СЗ-4-1,5 ком $\pm 10\%$	1-4
$D_1 - D_3$	Диод ДММЗВП	1-6
D_4	Диод 2ДМ101А	1-6
Tr_1	Трансформатор ММТИ-9-П	

Рис. V.74. Принципиальные схемы микромодулей:

а) СС-00; б) СС-01.

При работе вентиля-формирователя ВФ-04 с микро-модулями БЖ-00 — БЖ-03 между ними рекомендуется устанавливать омический делитель напряжений $R_1=300\text{ ом}$ и $R_2=300\text{ ом}$. В случаях, когда возникает необходимость подавать на схему вентиля-формирователя импульсы от блокинг-генераторов, рекомендуется применять микромодули ВФ-05 или ВФ-06, не требующие дополнительных согласующих элементов.

Соединение ждущих мультивибраторов и триггеров со схемами ВФ-05 и ВФ-06 в случаях, когда длительность импульсов не превышает 10 мксек, следует осуществлять через переходную RC цепь. При необходимости подачи на входы микромодулей ВФ-05 и ВФ-06 уровней напряжения связь между микромодулями должна быть только непосредственной (гальванической).

На рис. V.70—V.71 приведены примеры функциональных групп № 1 и № 2 и их основные параметры.

На рис. V.72 приведена функциональная группа № 3, работающая при частотах до 100 кГц. Группа включает микромодули ТС-03, УИ-01 (рис. V.73), СС-00 (рис. V.74).

V.2.5. Микромодули для усилителей низкой частоты

Микромодули, применяемые для построения усилителей низкой частоты (УНЧ), имеют следующие наименования и назначения:

У1-1 — предварительный каскад УНЧ;

У2-1 — оконечный каскад УНЧ;

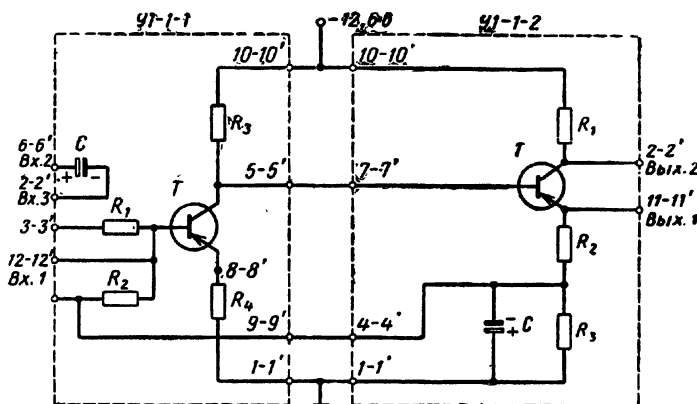
У1-2 — предварительный (оконечный) каскад.

Основные параметры микромодулей приведены в табл. V.12, а характеристики в приложении 3.

Усилитель У1-1 (рис. V.75) имеет гальванический вход (вывод 12-12' первого микромодуля), который может быть использован для введения как положительной, так и отрицательной внешней (межкаскадной) обратной связи, и вход через разделительный конденсатор C (вывод 6-6' или 2-2' первого микромодуля). Подключение входного конденсатора C производится в зависимости от потенциала источника входного сигнала.

Усиленный сигнал может быть снят с выводов 2-2' («Вых. 2») или 11-11' второго микромодуля («Вых. 1»).

Параметры микромодуля при снятии сигнала с выхода 1 через разделительный конденсатор $C_{H1}=10 \text{ мкф}$ (нагрузка $R_{H1}=4,7 \text{ ком}$) приведены в табл. V.12. Параметры усилителя при снятии сигнала с выхода 2 через разделительный конденсатор $C_{H2}=10 \text{ мкф}$ в диапазоне



		У1-1-1		У1-1-2	
R_1	Резистор СЗ-4	130 ом $\pm 10\%$	1-4	1,1 ком $\pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4	1,2 ком $\pm 10\%$	1-4	1,8 ком $\pm 5\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4	6,2 ком $\pm 5\%$	1-8	150 ом $\pm 5\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4	75 ом $\pm 5\%$	1-8		
C	Конденсатор КОПМ-6	10 мкф $\pm 10\%$	1-5	10 мкф $\pm 10\%$	1-4
$T_1 - T_2$	Транзистор	ТМ-5Г		ТМ-5Г	

Рис. V.75. Принципиальная схема усилителя У1-1.

температур (нагрузка $R_{H2}=4,7 \text{ ком}$ и $f=1000 \text{ гц}$) приведены в табл. V.13.

Для стабилизации коэффициента усиления и регулировки его в небольших пределах возможно увеличение внутренней отрицательной обратной связи при введении ее согласно блок-схеме рис. V.76 (последовательная цепочка R_0C_0).

Усилитель У2-1 (рис. V.77) имеет гальванический вход (вывод 3-3'), который может быть использован для введения внешней обратной связи, и вход через разделительный конденсатор (вывод 2-2').

ТАБЛИЦА V.12

Условные обозначения микромодуля	Коэффициент усиления K	Входное сопротивление $R_{вх}, \text{ом}$	Выходное сопротивление $R_{вых}, \text{ом}$	Диапазон рабочих частот $f, \text{гц}$	Неравномерность частотной характеристики в диапазоне рабочих частот, дБ	Максимальный выходной сигнал, передаваемый без искажений $U_{измкс}$, мВ	Коэффициент гармонических искажений при $U_{измкс} = 0,5 \text{ в}, K_f, \%$	Ток потребления $I, \text{мА}$	Напряжение питания, в
У1-1*	40—58	650—1 100	≤ 100	50—20 000	$\leq 4,5$	10	≤ 2	$\leq 3,7$	$-12,6 \pm 10\%$
У2-1*	1,8—2,3	1 400—1 800	550—700	50—20 000	$\leq 1,5$	350	≤ 2	$\leq 7,8$	$-12,6 \pm 10\%$
У1-2	33—56	≥ 600	1 650—20 000	300—3 400	≤ 9	5	≤ 5	$\leq 1,8$	$+6,3 \pm 10\%$

* Мощность рассеивания микромодулей У1-1 и У2-1 превышает 50 мВт, поэтому конструктивно они выполнены в виде двух микромодулей.

ТАБЛИЦА V.13

K_f	$R_{вх}, \text{ом}$				$R_{вых}, \text{ом}$		$\Delta K_{\text{макс}}$ в полосе частот 50—20 000 гц, %	K_f при $U_{вых} = 500 \text{ мВ}$, %
	$T = +70^\circ \text{C}$	$+20^\circ \text{C}$	-60°C	$+70^\circ \text{C}$	$+20^\circ \text{C}$	-60°C		
14—23	17—20	15—22	1 000	$830 \pm 20\%$	600	$820 \pm 20\%$	± 35	2

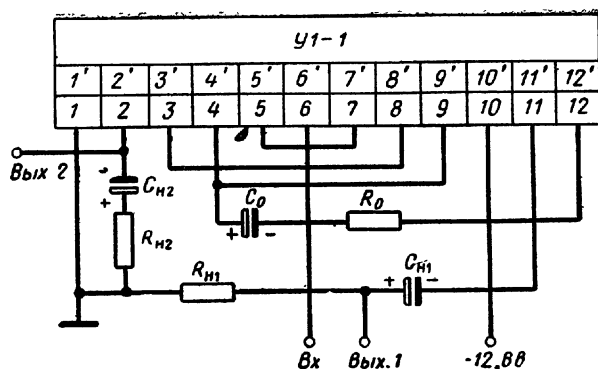
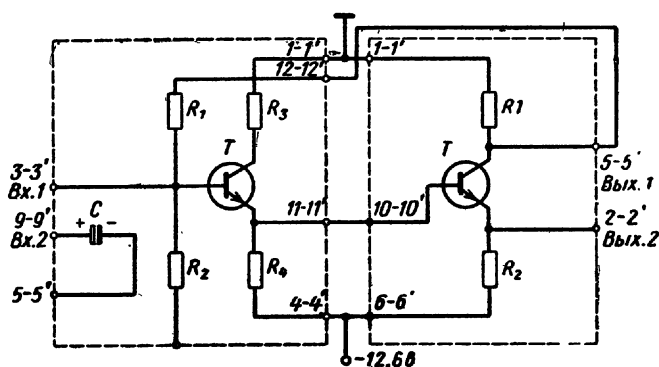


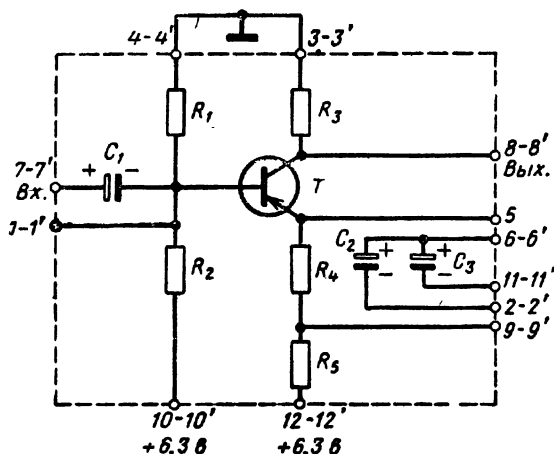
Рис. V.76. Блок-схема включения микромодуля У1-1 при введении внутренней обратной связи (цепочка R_0C_0).



		У2-1-1		У2-1-2	
R_1	Резистор СЗ-4	8,2 ком $\pm 5\%$	1-4	1,1 ком $\pm 5\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4	4,3 ком $\pm 5\%$	1-4	150 ом $\pm 5\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4	1,8 ком $\pm 10\%$	1-8	—	—
R_4	Резистор СЗ-4	3 ком $\pm 10\%$	1-8	—	—
C	Конденсатор КОПМ-6	10 мкф $\pm 20\%$	1-5	—	—
T	Транзистор	ТМ-3Г		ТМ-10Г	

Рис. V.77. Принципиальная схема усилителя У2-1.

тельный конденсатор C (вывод 9-9' или 5-5'). Подключение входного конденсатора C производится в зависимости от потенциала входного генератора. При подаче входного сигнала от источника с $R_i = 1600 \text{ ом}$ на вывод 5-5' первого микромодуля (9-9' и 3-3' замкнуты) сьем



R_1	Резистор СЗ-4-12 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-4,7 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,8 $\text{ком} \pm 5\%$	1-8
R_4	Резистор СЗ-4-620 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
R_5	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 5\%$	1-4
C_1	Конденсатор КОПМ-6-10 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-5
C_2	Конденсатор КОПМ-6-10 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-5
C_3	Конденсатор КОПМ-6-10 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-8
T	Транзистор ТМ-5Г	

Рис. V.78. Принципиальная схема микромодуля У1-2.

усиленного сигнала производится с вывода 5-5' второго микромодуля через разделительный конденсатор $C_p = 10 \text{ мкф}$ на нагрузку $R_n = 600 \text{ ом}$, при этом электрические параметры микромодуля соответствуют табл. V.12.

Усилитель У1-2 имеет принципиальную электрическую схему, приведенную на рис. V.78. Схема включения микромодуля в качестве предварительного каскада УНЧ приведена на рис. V.79, при этом электрические пара-

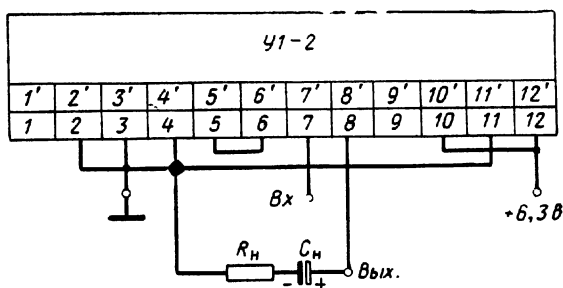


Рис. V.79. Схема включения микро модуля У1-2 при использовании его в качестве предварительного каскада УНЧ.

метры микро модуля соответствуют табл. V.12. Схема включения микро модуля в качестве оконечного каскада УНЧ приведена на рис. V.80, при этом электрические параметры при частоте входного сигнала 1000 гц соответствуют табл. V.14.

ТАБЛИЦА V.14

K			R _{вх} , ком			K _f при U _{вых} = =1,5 в, f=1 000 гц, %
[T=+70° C	+20° C	—60° C	+70° C	+20° C	—60° C	
40—70	50—70	50—70	1	1	1	2,5

Кроме входа через разделительный конденсатор (C₁) в микро модуле предусмотрен гальванический вход (1-1'), который может быть использован для введения как положительной, так и отрицательной межкаскадной обратной связи по постоянному или переменному току.

Для стабилизации коэффициента усиления, выравнивания частотной характеристики и увеличения входного сопротивления возможно введение отрицательной обратной связи согласно схеме рис. V.81 (сопротивление обратной связи R₀).

В качестве примера на рис. V.82 и V.83 приводятся блок-схемы усилителей УНЧ-1 и УНЧ-2. Параметры усилителей указаны в табл. V.15.

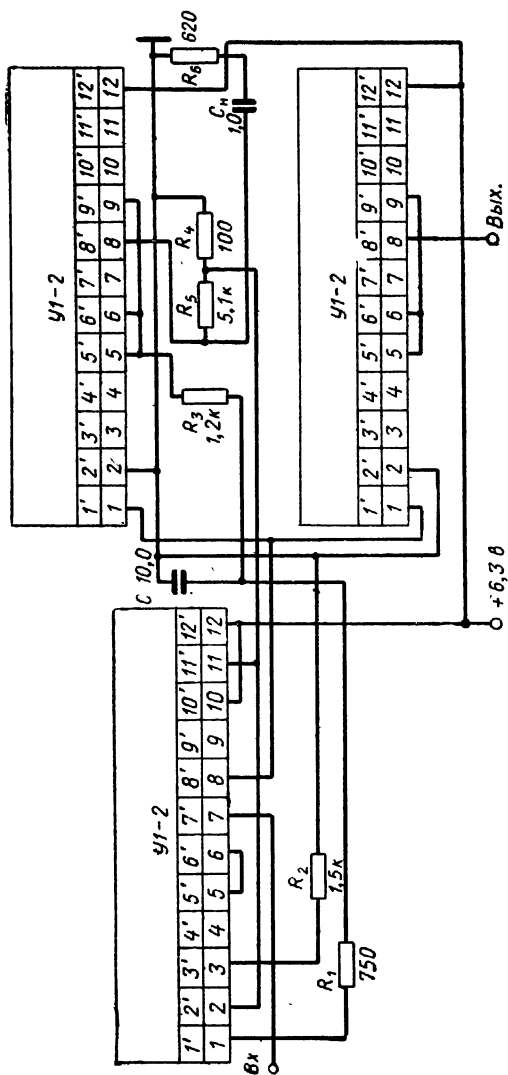


Рис. V.80. Схема включения микромодулей У1-2 при использовании его в качестве оконечного каскада УНЧ.

ТАБЛИЦА V.15

Параметр	УНЧ-1	УНЧ-2
Напряжение питания, <i>в</i>	$-12,6 \pm 10\%$	$-12,6 \pm 10\%$
Входное сопротивление, <i>ом</i>	$\geq 1\,000$	≥ 600
Коэффициент усиления	≥ 200	≥ 40
Нагрузка активная R_n , <i>ом</i>	4 700	680
Выходное напряжение на нагрузке R_n при $K_f = 5\%$, <i>мв</i>	≤ 300	≤ 700
Нестабильность коэффициента усиления при $T = -60 \div +70^\circ \text{C}$, %	± 15	$\leq \pm 30$
Неравномерность частотной характеристики, <i>дб</i> :		
в полосе частот 50 — 20 000 <i>гц</i> относительно частоте 50 <i>гц</i> ;	≤ 4	—
в полосе частот 250 — 20 000 <i>гц</i> относительно средней частоты	—	3-6

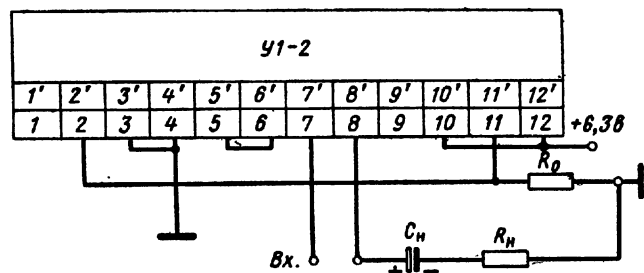
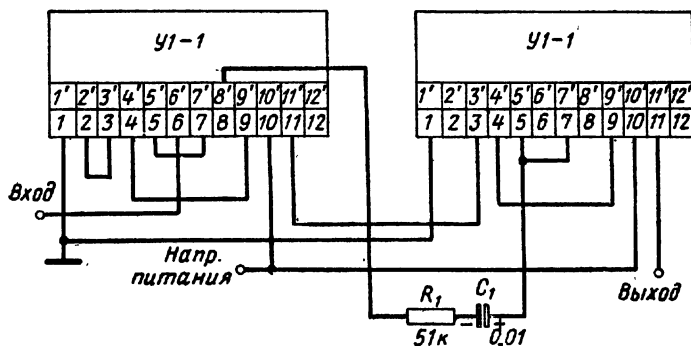
Рис. V.81. Схема включения микромодуля У1-2 при введении внутренней обратной связи (R_0).

Рис. V.82. Блок-схема УНЧ-1.

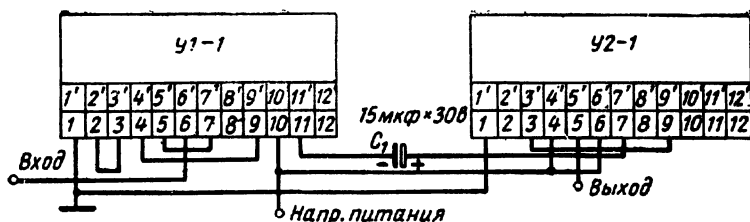
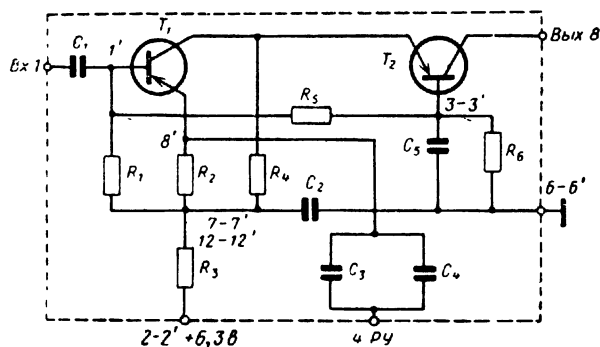


Рис. V.83. Блок-схема УНЧ-2.

V.2.6. Микромодули для приемо-усилительных устройств

К микромодулям, используемым в приемо-усилительных устройствах, относятся: усилители, смесители, умножители радиочастот, ограничители, усилители низкой частоты, детекторы, управляемые элементы АРУ и т. д.

Усилитель радиочастот УР-04 представляет собой каскодный усилитель высокой и промежуточной частоты. Электрическая схема усилителя УР-04 приведена на рис. V.84.



R_1	Резистор СЗ-4-2,4 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-680 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-390 $\text{ом} \pm 10\%$	1-8
R_4	Резистор СЗ-4-1,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_5, R_6	Резистор СЗ-4-3 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1, C_2, C_5	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-4
C_3, C_4	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
T_1, T_2	Транзистор ТМ-4Е	

Рис. V.84. Принципиальная схема микромодуля УР-04.

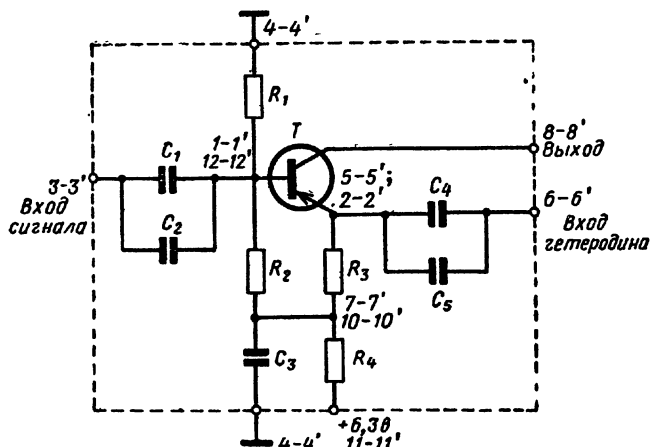
Основные характеристики:

напряжение питания	$6,3 \pm 10\%$
входное сопротивление на частоте 30 МГц	50 ом
диапазон входных частот	$0,5 \div 70$ МГц
коэффициент усиления	≥ 10

Смеситель радиочастот СЧ-00 (рис. V.85) имеет отдельные входы сигнального и гетеродинного напряжения. Промежуточная частота выделяется на контуре, выполненном в виде отдельного микромодуля.

Основные характеристики:

напряжение питания	$+6,3 \pm 10\%$
входное сопротивление при частоте сигнала 30 МГц	≥ 30 ом
диапазон частот сигнала	$1 \div 70$ МГц
коэффициент преобразования	$\geq 2,5$



R_1	Резистор СЗ-4-10 ком $\pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-2,4 ком $\pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1 ком $\pm 10\%$	1-8
R_4	Резистор СЗ-4-1 ком $\pm 10\%$	1-5
$C_1 \div C_3$	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 мкф $\pm 50\%$ -20%	1-4
$C_4 \div C_5$	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 мкф $\pm 50\%$ -20%	1-5
T	Транзистор ТМ-4Г	

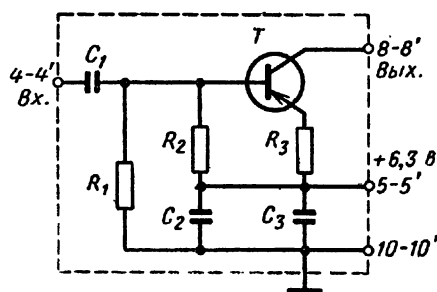
Рис. V.85. Принципиальная схема микромодуля СЧ-00.

Умножители частоты 6У-1М÷6У-3М, 6У-6М представляют собой активные части высокочастотных умножителей: 6У-1М — удвоитель частоты, 6У-2М — утроитель частоты, 6У-3М — упятиритель, 6У-6М — учетверитель частоты.

Схемы всех умножителей однотипны: умножение происходит за счет нелинейности входной характеристики с последующим выделением требуемой гармоники на внешнем резонансном контуре. Режим транзисторов выбран таким образом, что в диапазоне входных напряжений 0,4÷0,9 в каждый умножитель является оптимальным как по величине соответствующей гармоники коллекторного тока, так и по температурной стабильности. Электрическая схема умножителя частоты 6У-1М приведена на рис. V.86.

Основные характеристики:

напряжение питания	+6,3 в ± 10%
оптимальная рекомендуемая нагрузка	1,8—2,4 ком
входное сопротивление не менее	300 ом
диапазон входных частот	0,5÷30 Мгц
верхняя граничная частота	60 Мгц



R_1	Резистор СЗ-4-30 ком ± 10%	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-1 ком ± 10%	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-100 ом ± 10%	1-5
C_1	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 мкф +50% -20%	1-4
$C_2 - C_3$	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 мкф +50% -20%	1-8
T	Транзистор ТМ-4Г	

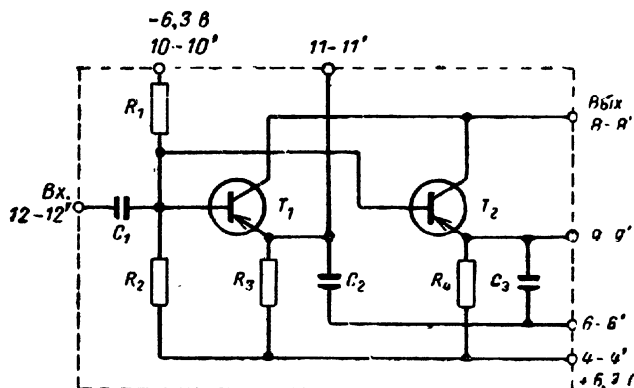
Рис. V.86. Принципиальная схема микромодуля 6У-1М.

ТАБЛИЦА V.16

Параметр	6У-1М	6У-2М	6У-3М	6У-6М
Коэффициент передачи (при $F_{\text{вх}}=1 \text{ МГц}$ $R_{\text{н}}=1 \text{ ком}$)	2,2	2,5	1,2	4,2
Входная емкость, пф	~30	~50	~50	~60
Ток потребления (при $U_{\text{вх}}=0,5 \text{ в}$), ма	2,4	2,4	2,7	1,4

В табл. V.16 приведены значения коэффициентов передачи, входных емкостей и токов потребления умножителей 6У-1М ÷ 6У-3М и 6У-6М.

Ограничитель-усилитель 60Г-20М представляет собой активную часть высокочастотного усилителя повышенной мощности. Предназначен для работы на диодные смесители, детекторы, передающие каскады, умножители, фазовые детекторы и т. п. Электрическая схема микро модуля приведена на-рис. V.87.



R_1	Резистор СЗ-4-1,2 ком $\pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-1,2 ком $\pm 10\%$	1-4
R_3, R_4	Резистор СЗ-4-560 ом $\pm 5\%$	1-8
C_1	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 мкф $\pm 50\%$ -20%	1-4
C_2, C_3	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 мкф $\pm 50\%$ -20%	1-8
T_1, T_2	Транзистор ТМ-4Г	

Рис. V.87. Принципиальная схема микро модуля 60Г-20М.

Двухстороннее ограничение сигнала происходит за счет нелинейности амплитудной характеристики усилителя. Основная схема применения — с общим эмиттером. Однако можно осуществить включение по схеме с общей базой и с общим коллектором.

Основные характеристики:

напряжение питания	$+6,3 \text{ в} \pm 10\%$
ток потребления	14—15 <i>ма</i>
диапазон рабочих частот	0,5—20 <i>Мгц</i>
выходная мощность около	20 <i>мвт</i>
входное сопротивление на частоте 5 <i>Мгц</i>	70—150 <i>ом</i>
оптимальное сопротивление нагрузки	порядка 200 <i>ом</i>

При всех дестабилизирующих факторах выходное напряжение изменяется не более чем на 10—15%.

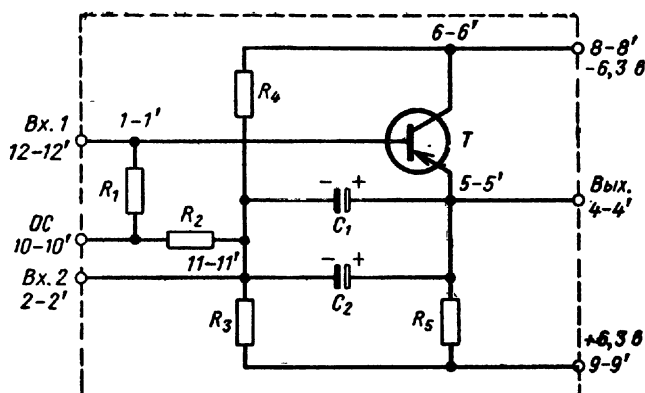
Диапазон рабочих частот может быть расширен за счет дополнительных внешних емкостей, подключаемых параллельно эмиттерным конденсаторам (порядка 0,1—0,25 *мкф*) и уменьшающих отрицательную обратную связь.

Усилитель низкой частоты 6Н-6М предназначен для работы в качестве микрофонного усилителя и предварительного УНЧ. Принципиальная схема микромодуля представлена на рис. V.88. Схема позволяет вводить в нее последовательную или параллельную обратную связь или охватить ее обратной связью с других каскадов. Микрофон не должен иметь общего вывода с полюсами источника питания.

Основные характеристики:

напряжение питания	$+6,3 \text{ в} \pm 10\%$
коэффициент усиления	53—60
ток потребления около	2 <i>ма</i>
входное сопротивление	0,9—1,25 <i>ком</i>
выходное сопротивление	1,7—2 <i>ком</i>
диапазон рабочих частот	100—10 000 <i>гц</i>
коэффициент нелинейных искажений при уровне входных сигналов 2—20 <i>мв</i>	$\leq 5\%$

При использовании обратной связи последняя не должна существенно влиять на режим работы усилителя по постоянному току.



R_1	Резистор СЗ-4-2 $\text{ком} \pm 5\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-300 $\text{ом} \pm 5\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-30 $\text{ком} \pm 5\%$	1-8
R_4	Резистор СЗ-4-20 $\text{ком} \pm 5\%$	1-5
R_5	Резистор СЗ-4-2 $\text{ком} \pm 5\%$	1-5
C_1	Конденсатор КОПМ-6-10 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-8
T	Транзистор ТМ-5Г	

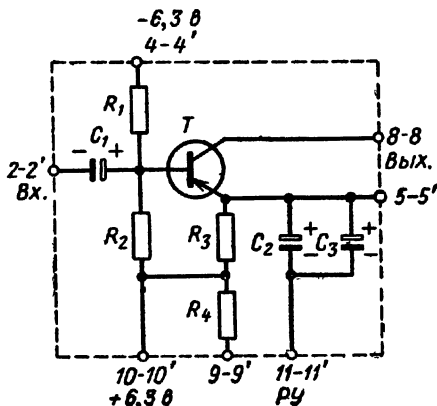
Рис. V.88. Принципиальная схема микромодуля 6H-6M.

Усилитель низкой частоты 6H-10M представляет собой усилитель без внутренней нагрузки (рис. V.89). Предназначается для использования в качестве предварительного УНЧ или маломощного выходного УНЧ с трансформаторной нагрузкой. Дополнительный выход эмиттера (вывод 11-11') позволяет осуществить регулировку усиления или ввод отрицательной обратной связи. Если обратная связь отсутствует, вывод 11 заземляется.

Основные характеристики:

напряжение питания	6,3 в $\pm 10\%$ или 12,6 в $\pm 10\%$
ток потребления	2,6—3,2 ма
коэффициент усиления каскада	25—35
входное сопротивление	2—2,7 ком
выходное сопротивление	11—13 ком
уровень входного сигнала	2—30 мв
коэффициент нелинейных искажений менее	5%
диапазон рабочих частот	0,1—10 кГц

Рекомендуемое включение нагрузки — трансформаторное. Для обеспечения равномерности частотной характеристики индуктивность первичной обмотки должна быть не менее 1,5 *гн*. Величина нагрузки, приведенной к коллектору, 2,4—5 *ком*.



R_1	Резистор СЗ-4-10 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-4,3' <i>ком</i> $\pm 5\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-2 <i>ком</i> $\pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-680 <i>ком</i> $\pm 5\%$	1-8
$C_1 - C_3$	Конденсатор КОПМ-6-10 <i>мкф</i> $\pm 20\%$	1-8
T	Транзистор ТМ-5В	

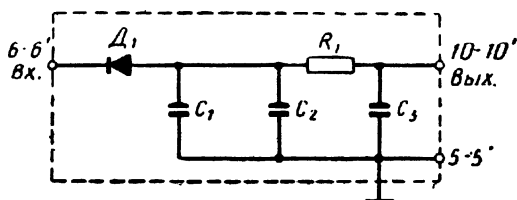
Рис. V.89. Принципиальная схема микромодуля 6H-10M.

Амплитудный диодный детектор Д-1М предназначен для выделения постоянной составляющей в цепях АРУ. Принципиальная схема приведена на рис. V.90.

Коэффициент передачи детектора 0,4—0,6 на нагрузке 4,7 *ком*, диапазон частот 300 *гц*—20 *Мгц*. Рекомендуется использовать совместно с управляющими элементами 6Р-1М и 12Р-1М.

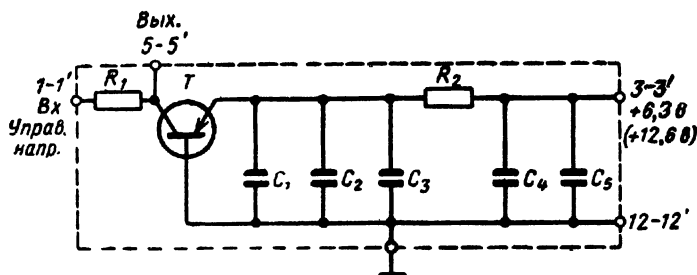
Управляемые элементы 6Р-1М и 12Р-1М представляют собой транзисторные каскады с управляемой постоянной напряжением проводимостью и предназначены для использования в качестве элементов АРУ. Подключаются параллельно эмиттерному сопротивлению каскадов усилителей, регулируя величину отрицательной об-

ратной связи. В качестве источника управляющего напряжения рекомендуется использовать микромодуль Д-1М. Принципиальные схемы микромодулей изображены на рис. V.91.



R_1	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
C_1, C_2	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
C_3	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-8
D_1	Диод 2ДМ101А	1-6 Δ

Рис. V.90. Принципиальная схема микромодуля Д-1М.



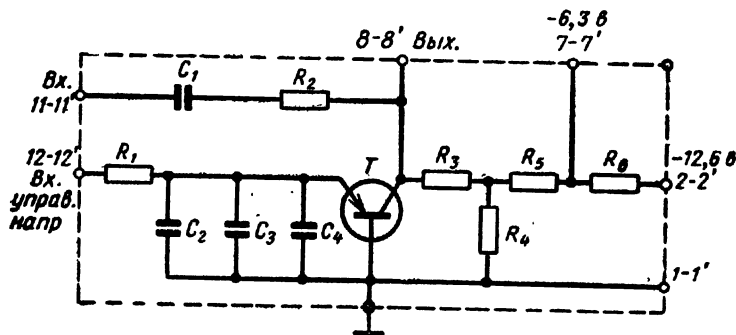
R_1	Резистор СЗ-4-4,7 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_2	Резистор СЗ-4-75 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8 6P-1М
R_2	Резистор СЗ-4-30 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8 12P-1М
$C_1 - C_3$	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
$C_4 - C_5$	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-4
T	Транзистор ТМ-5В	

Рис. V.91. Принципиальная схема микромодуля управляемых сопротивлений 6P-1М и 12P-1М (напряжения питания +6,3 в для 6P-1М, +12,6 в — для 12P-1М).

Основные характеристики:

напряжение питания для 6P-1М	+6,3 в ± 10%
для 12P-1М	+12,6 в ± 10%
ток потребления	0,25 ма
управляющее напряжение	0—2 в
диапазон частот для управляемой цепи	0,5—5 Мгц
изменение сопротивления управляемой цепи при изменении $U_{упр}$ от 0 до 2в:	
на частоте 0,5 Мгц	от 10—30 ом до 2—5 ком
на частоте 5 Мгц	от 30—40 ом до 1—2 ком
изменение глубины регулирования в диапа- зоне температур	≤ 30%

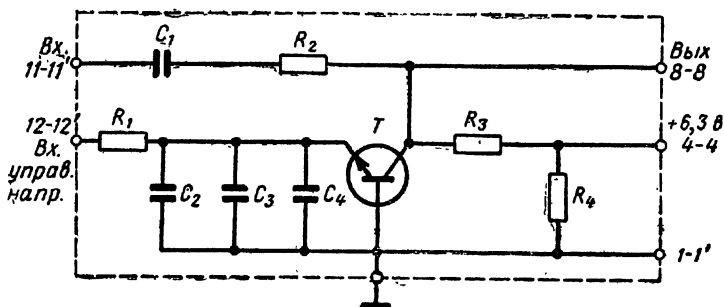
Регулирующие делители Р-2М и Р-3М представляют собой транзисторные каскады, схемы которых приведены на рис. V.92 и V.93. В нижних плечах делителей



R_1, R_2	Резистор СЗ-4-1 <i>КОМ</i> $\pm 10\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-20 <i>КОМ</i> $\pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-1 <i>КОМ</i> $\pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-10 <i>КОМ</i> $\pm 10\%$	1-4
R_6	Резистор СЗ-4-10 <i>КОМ</i> $\pm 10\%$	1-8
$C_1 - C_4$	Конденсатор КМК-2-НЗ0-0,015 <i>мкФ</i> $\begin{matrix} +50\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
T	Транзистор ТМ-5В	

Рис. V.92. Принципиальная схема микромодуля Р-2М.

использованы переходы коллектор—база. Проводимость переходов меняется постоянным управляющим напряжением, подаваемым в эмиттер. Регулирующие делители



R_1, R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-20 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
$C_1 - C_4$	Конденсатор КМК-2-Н30-0,015 $\text{мкф} \begin{matrix} + 50\% \\ - 20\% \end{matrix}$	1-5
T	Транзистор ТМ-3В	

Рис. V.93. Принципиальная схема микромодуля Р-3М

Р-2М и Р-3М включаются в тракт УПЧ между основными усилительными каскадами и выполняют роль элементов АРУ.

Основные характеристики:

напряжение питания для Р-2М	-6,3 в (-12,6 в) ± 10%
для Р-3М	+6,3 в ± 10%
диапазон частот	0,5—5 Мгц
коэффициент нелинейных искажений при входном напряжении 1 в и токе управ- ления 1 ма	≤ 1%
максимальный коэффициент передачи:	
на частоте 0,5 Мгц	0,5
на частоте 5 Мгц	0,33
глубина регулирования:	
на частоте 0,5 Мгц	до 36 дб
на частоте 5 Мгц	до 30 дб
ток управления делителями	0—1 ма

Особенность схем заключается в том, что цепи, регулирующая и управляющая, разделены. Это позволяет использовать любой тип детектора АРУ или любой другой источник управляющего тока.

V.2.7. Микромодули для телевизионных устройств

Микромодули предназначены для применения в передающих телевизионных устройствах, рассчитанных на вещательный и близкие к нему стандарты разложения. Они также широко могут быть применены во всех видах радиоэлектронной аппаратуры для усиления биполярных сигналов в широком диапазоне частот. Характеристики микромодулей приведены в табл. V.17.

ТАБЛИЦА V.17

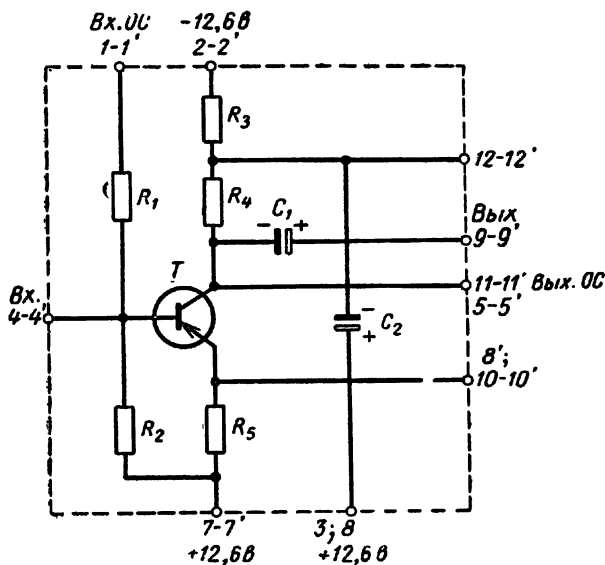
Наименование микромодуля	Условное обозначение	Напряжение питания, в	Ток потребления при $U_{\text{н}}=0,1\%$, ма	Входное сопротивление при $F_{\text{н}}=100 \text{ кгц}$, ком	Примечание
Универсальный видеоусилитель	ВУ-07	$-12,6 \pm 10\%$	$2,2 \pm 15\%$	2—3	$R_{\text{с}}=560 \text{ ом}$ $R_{\text{экв}}=84 \text{ ом}$
Видеоусилитель двухкаскадный	ВУ-08	$-12,6 \pm 10\%$	$3,1 \pm 10\%$ $5,6 \pm 10\%$	1—2	
Эмиттерный повторитель	ЭП-17	$-12,6 \pm 10\%$	$5 \pm 20\%$	≥ 2	

Универсальный видеоусилитель ВУ-07 используется в двух вариантах включения с сопротивлением в цепи эмиттера $R_{\text{с}}=560 \text{ ом}$ (в соответствии с принципиальной схемой микромодуля, рис. V.94) и с параллельно подключенным к $R_{\text{с}}$ дополнительным сопротивлением 120 ом ($R_{\text{экв}}=84 \text{ ом}$).

Основные характеристики:

верхняя граница полосы пропускания видеоусилителя . . .	8 Мгц
допустимая неравномерность частотной характеристики относительно уровня на частоте 1 Мгц в пределах полосы пропускания	$\pm 10\%$
минимальная амплитуда входного синусоидального сигнала при частоте 100 кгц, пропускаемого без искажений:	
при $R_{\text{с}}=560 \text{ ом}$	0,95 в
при $R_{\text{экв}}=84 \text{ ом}$	0,25 в
искажения плоской части симметричных прямоугольных импульсов на частоте 50 гц не более	10%
коэффициент усиления по напряжению на частоте 100 кгц:	
при $R_{\text{с}}=560 \text{ ом}$	≥ 1
при $R_{\text{экв}}=84 \text{ ом}$	≥ 5

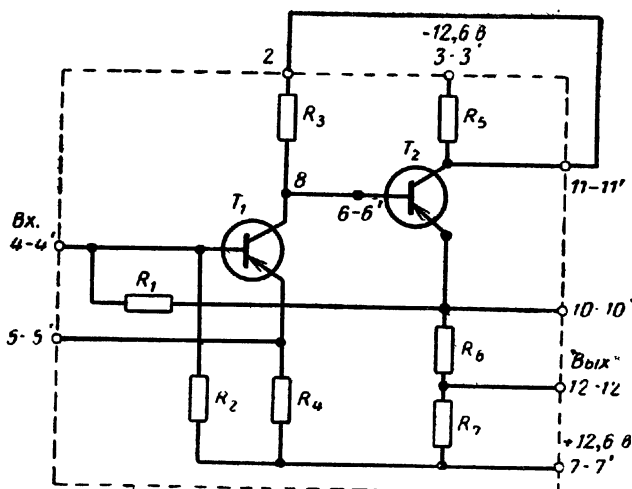
В случае необходимости подбором внешнего сопротивления могут быть получены промежуточные значения коэффициента усиления K_U .



R_1	Резистор СЗ-4-15 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-5,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_5	Резистор СЗ-4-560 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-5
C_2	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-4
T	Транзистор 1ТМ305А	

Рис. V.94. Принципиальная схема микромодуля ВУ-07.

Видеоусилитель двухкаскадный ВУ-08 (рис. V.95) представляет собой законченное усилительное звено, позволяющее при его включении в телевизионный усилительный тракт изменять полярность сигнала на 180° . Усилитель собран на двух высокочастотных транзисторах, включенных: первый по схеме с общим эмиттером, второй с общим коллектором. Транзисторы связаны друг с другом кондуктивной связью. Стабилизация режимов



R_1	Резистор СЗ-4-22 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-3,9 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
R_4, R_6	Резистор СЗ-4-120 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
R_5	Резистор СЗ-4-220 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
R_7	Резистор СЗ-4-2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
T_1, T_2	Транзистор 1ТМ305А	

Рис. V.95. Принципиальная схема микромодуля ВУ-08.

транзисторов в интервале температур обеспечивается глубокими отрицательными обратными связями (R_1, R_3, R_4, R_5).

Основные характеристики:

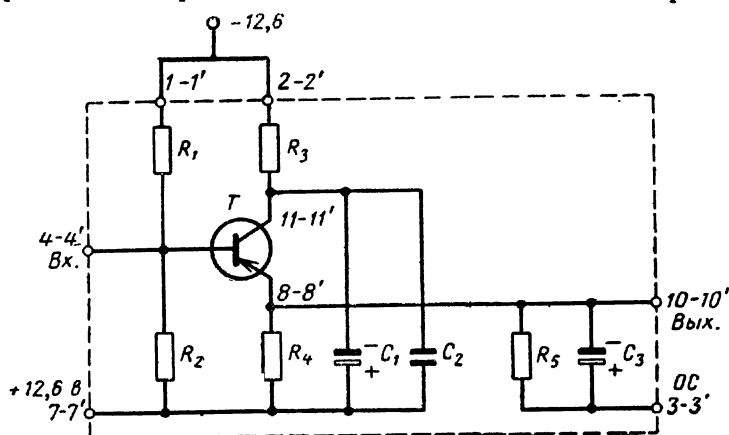
коэффициент усиления по напряжению на частоте 100 кГц ≥ 8
 верхняя граница полосы пропускания 8 МГц
 допустимая неравномерность частотной характеристики относительно уровня 1 МГц в пределах полосы пропускания $\pm 10\%$
 минимальная амплитуда входного синусоидального сигнала частоты 100 кГц, пропускаемого без искажений, 0,18 в
 амплитуда выходного сигнала при $U_{\text{вх}} = 0,18$ в и частоте 100 кГц $\geq 1,3$ в

Включение двух микромодулей последовательно позволяет получить коэффициент усиления не менее $K_U = K_I K_{II} \approx 64$ и амплитуду входного сигнала

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вых макс}}}{K_U} = \frac{1,3}{64} \approx 0,02 \text{ в.}$$

Учитывая, что обычно общий коэффициент усиления в телевизионном канале с применением передающей трубки типа «Суперортикон» составляет (по высоким частотам) 1000—2000, для основной усилительной части понадобится 4 двухкаскадных усилителя ВУ-08.

Эмиттерный повторитель ЭП-17 применяется в телевизионных усилителях в качестве выходного и согласующего каскадов. Принципиальная схема микро модуля приведена на рис. V.96. Наличие в составе эмиттерного



R_1	Резистор СЗ-4-15 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-5,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_4	Резистор СЗ-4-560 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-10 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
C_1	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-5
C_2	Конденсатор КМК-2-М750-390 $\text{пф} \pm 10\%$	
C_3	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-8
T	Транзистор 1ТМ305А	

Рис. V.96. Принципиальная схема микро модуля ЭП-17.

повторителя элементов R_5 и C_3 обусловлено использованием его в составе трехкаскадного усилителя для передачи напряжения обратной связи.

Основные характеристики:

коэффициент передачи по напряжению на частоте 100 кГц $\geq 0,9$
 верхняя граница полосы пропускания 8 МГц

допустимая неравномерность частотной характеристики относительно уровня 1 Мгц в пределах полосы пропускания $\pm 10\%$ минимальная амплитуда входного синусоидального сигнала частоты 100 кГц, пропускаемого без искажений 1,4 в.

Микромодули ВУ-07 и ЭП-17 электрически согласуются в трехкаскадное усилительное звено, состоящее из двух микромодулей ВУ-07 и одного ЭП-17, охваченных отрицательной обратной связью (рис. V.97). Технические характеристики трехкаскадного усилителя приведены в табл. V.18.

Микромодули для телевизионных устройств позволяют создавать усилители видеочастоты с различными

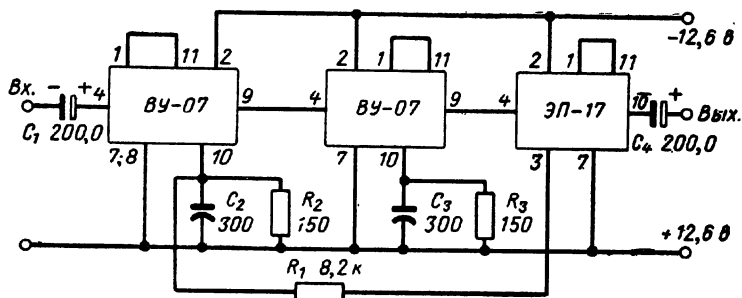


Рис. V.97. Функциональная схема трехкаскадного телевизионного усилителя.

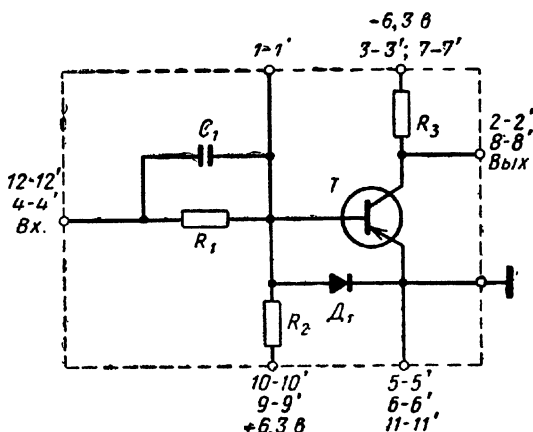
ТАБЛИЦА V.18

Параметр	Значение параметров	Условия измерения
Коэффициент усиления по напряжению	≥ 20	$f=100 \text{ кГц}$ $R_{\text{н}}=1,5 \text{ ком}$ $C_{\text{н}}=27 \text{ пф}$
Верхняя граница полосы пропускания	8 МГц	$R_{\text{н}}=1,5 \text{ ком}$ $C_{\text{н}}=27 \text{ пф}$
Амплитуда входного синусоидального сигнала, пропускаемого без искажений	$\geq 0,06 \text{ в}$	$f=100 \text{ кГц}$ $R_{\text{н}}=1,5 \text{ ком}$ $C_{\text{н}}=27 \text{ пф}$
Спад вершины симметричного прямоугольного импульса	$\leq 10\%$	$F_{\text{н}}=50 \text{ гц}$ $R_{\text{н}}=1,5 \text{ ком}$ $C_{\text{н}}=27 \text{ пф}$
Входное сопротивление	1,5—2,5 ком	$f=100 \text{ кГц}$ $R_{\text{н}}=1,5 \text{ ком}$ $C_{\text{н}}=27 \text{ пф}$

техническими характеристиками, получать требуемые уровни сигналов, изменять их полярность, производить сочленение со схемами АРУ и импульсными схемами.

V.2.8. Универсальный микромодуль—инвертор статический ИС-00 для цифровых вычислительных устройств (ЦВУ)

Для построения любой логической схемы ЦВУ достаточно иметь один тип микромодуля — инвертор статический ИС-00. Сочетание одного, двух и более микромодулей — инверторов между собой или объединенных опре-



R_1	Резистор СЗ-4-5,6 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-27 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-1,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
C_1	Конденсатор КМК-2-М75-150 $\pm 10\%$	1-4
D_1	Диод 2ДМ502Б	1-6
T	Транзистор ТМ-4Д	

Рис. V.98. Принципиальная схема микромодуля ИС-00.

деленным образом с дополнительными навесными деталями позволяет образовать функционально полную систему логических элементов для ЦВУ.

В типовом включении микромодуль ИС-00 (рис. V.98) выполняет логическую операцию НЕ. При подаче на

вход высокого уровня потенциала, соответствующего коду «0», на выходе получается низкий уровень потенциала, соответствующий коду «1» и, наоборот, используя комбинации микромодуля ИС-00 в разном включении, можно построить схемы ИЛИ и И.

Простейшая схема ИЛИ — НЕ показана на рис. V.99. В этом случае при подаче на вход 1 или вход 2 низкого

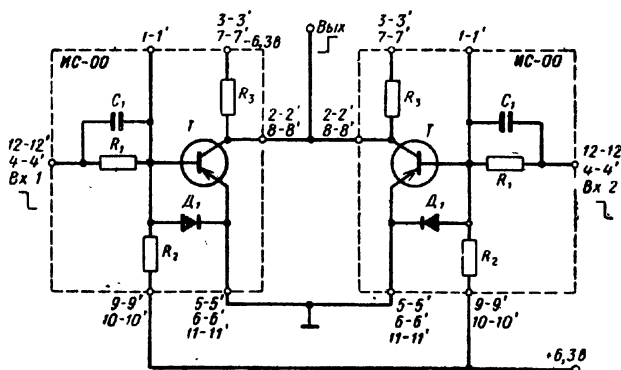


Рис. V.99. Принципиальная схема логической функции ИЛИ—НЕ.

потенциала (код «1») на выходе схемы ИЛИ — НЕ будет высокий уровень потенциала (код «0»).

Простейшая схема И — НЕ показана на рис. V.100. В этом случае только при подаче на вход 1 и вход 2 низкого уровня потенциала на выходе схемы И — НЕ будет высокий уровень потенциала.

Для удобства составления схем ЦВУ и уменьшения количества оборудования целесообразно дополнительно использовать инвертор с повышенной нагрузочной способностью — инвертор каскодный ИК, осуществляющий логическую операцию НЕ и работающий на кабельные линии связи (рис. V.101).

При подаче на вход каскодного инвертора низкого входного уровня потенциала (код «1») на выходе устанавливается высокий выходной уровень потенциала (код «0»). При подаче на вход каскодного инвертора высокого уровня потенциала (код «0») потенциал на выходе падает до низкого выходного уровня потенциала

(код «1»). Повышенная нагрузочная способность каскадного инвертора определяется малым внутренним сопротивлением схемы. Сопротивления R_4 , R_5 ограничивают ток в коллекторных цепях транзисторов второго и третьего микромодуля. Основные параметры логических элементов приведены в табл. V.19.

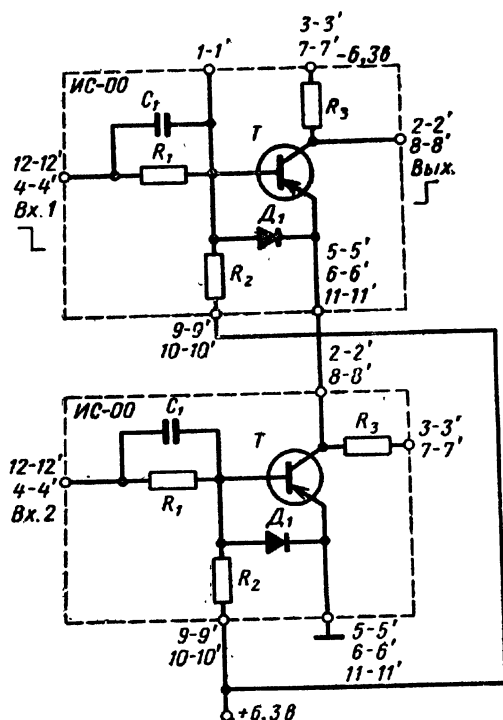


Рис. V.100. Принципиальная схема логической функции И—НЕ.

Для обеспечения надежной и устойчивой работы блоков и узлов цифровых вычислительных устройств необходимо соблюдать следующие правила сочетаний микромодулей:

1. Параметры микромодулей ЦВУ при работе в блоках не должны выходить за указанные пределы.

2. Задержку сигнала при расчете временных соотношений в логических цепях следует оценивать на основе

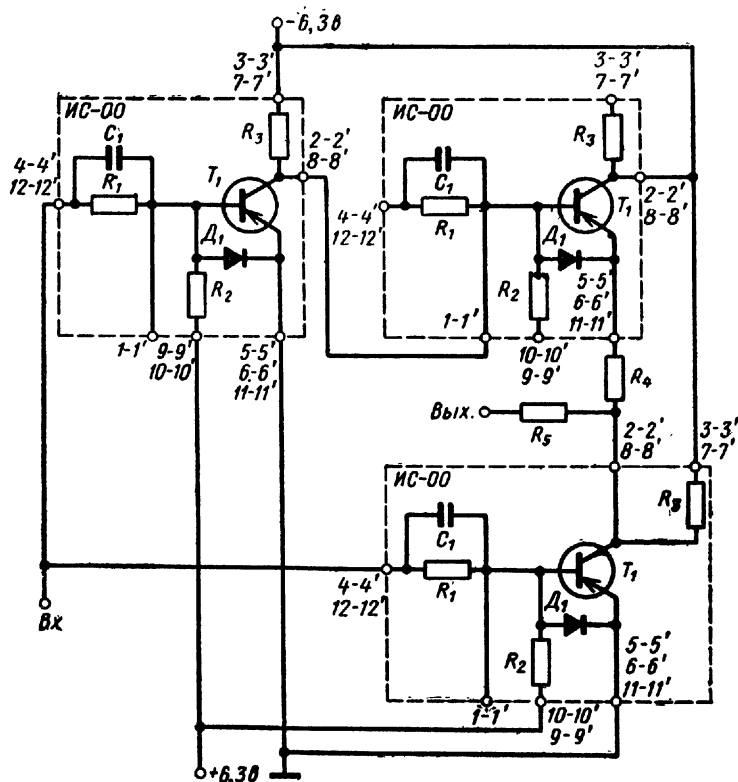


Рис. V.101. Принципиальная схема каскодного инвертора.

ТАБЛИЦА V.19

Параметр	Тип логической схемы			
	НЕ	ИЛИ	И	ИК
Высокий входной уровень потенциала, в	$-(0 \div 0,7)$	$-(0 \div 0,7)$	$-(0 \div 0,7)$	$-(0 \div 0,7)$
Низкий выходной уровень потенциала, в	$-(7 \div 3,7)$	$-(7 \div 3,7)$	$-(7 \div 3,7)$	$-(7 \div 3,7)$
Низкий входной уровень потенциала, в	$-(3,2 \div 7)$	$-(3,2 \div 7)$	$-(3,2 \div 7)$	$-(3,2 \div 7)$
Высокий выходной уровень потенциала, в	$< 0,3 $	$< 0,3 $	$< 0,6 $	$< 0,6 $
Задержка сигнала, мксек	$< 0,15$	$< 0,15$	$< 0,15$	$< 0,15$
Коэффициент разветвления по выходу	3	3	3	25
Коэффициент разветвления по входу	1	1	1	2

графиков рис. V.102, где по оси абсцисс отложено количество последовательно соединенных одноступенчатых логических элементов N (инвертор или схема ИЛИ, или схема И), по оси ординат — задержка сигнала t_3 .

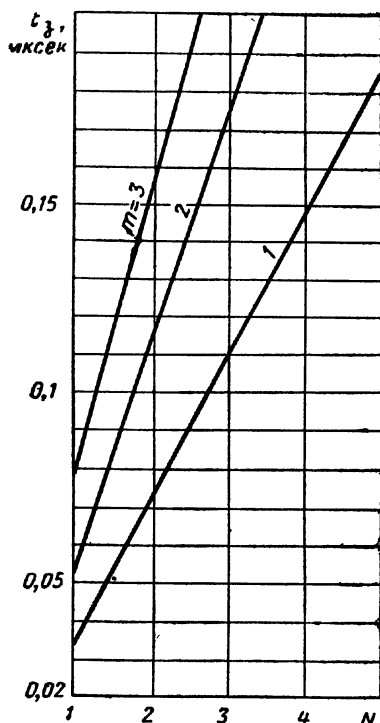


Рис. V.102. Временные соотношения в логических цепях (схемы НЕ, ИЛИ — НЕ, И — НЕ).

3. Задержку сигнала от величины коэффициента разветвления по выходу m для инвертора каскадного следует определять по графику (рис. V.103).

При нагрузке на кабельные линии связи задержка сигнала определяется по формуле

$$t_3 = (0,01 \div 0,1) m t_{30},$$

где m — коэффициент разветвления по выходу. Величина t_{30} определяется по графику (рис. V.103).

4. Допустимое количество логических элементов, подключаемых к выходу данного логического элемента, определяется по формуле

$$N_{\text{доп}} = \frac{m}{n},$$

где n — коэффициент разветвления по входу; округляется до ближайшего меньшего целого числа.

5. Схема сборки ИЛИ — НЕ может быть построена не более чем на десять входов при $m=1$, на восемь вхо-

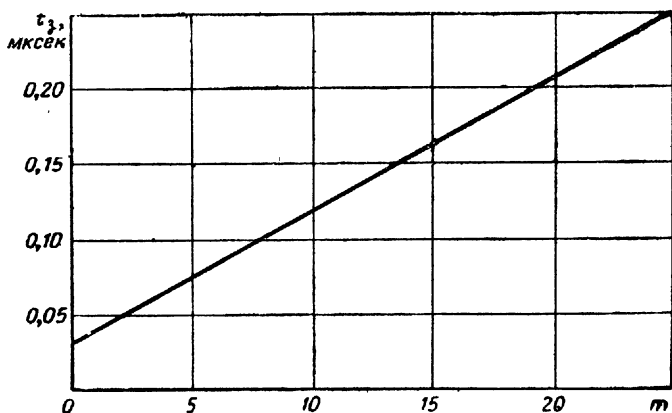


Рис. V.103. Временные соотношения в логических цепях инвертора каскодного (ИК).

дов при $m=2$, на три входа при $m=3$, так как низкий выходной уровень потенциала схемы при большом количестве входов оказывается недопустимо малым по абсолютному значению и состояние последующих логических схем не будет устойчивым.

6. Схема совпадения И — НЕ может быть построена не более чем на два входа, так как высокий выходной уровень потенциала схемы оказывается недопустимо большим по абсолютному значению при количестве входов больше двух и состояние последующих логических схем не будет устойчивым.

7. Логические операции схем ИЛИ — НЕ и И — НЕ взаимно изменяются, если принять низкий уровень потенциала за код «0», а высокий уровень потенциала за код «1».

Условные изображения микромодулей в различных включениях приведены в табл. V.20.

Схемы И—НЕ можно объединить в схему сборки (рис. V.104) и таким образом прийти к операциям ло-

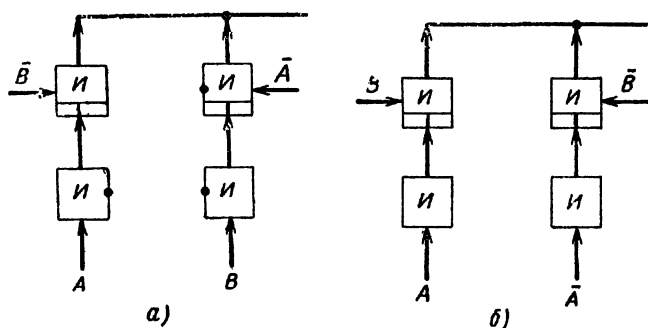


Рис. V.104. Схема сборки:

а — логической равнозначности $A \sim B$; б — логической неравнозначности $A \not\sim B$.

гической равнозначности $A \sim B$ или логической неравнозначности $A \not\sim B$ в зависимости от комбинации входных сигналов. Допустимое количество объединенных вы-

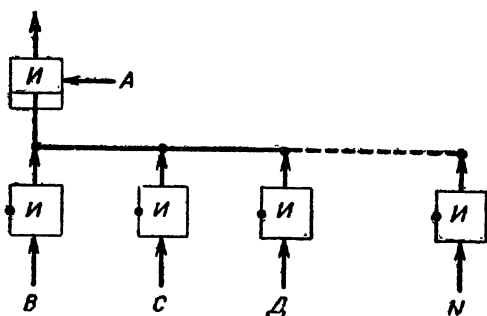
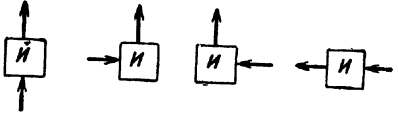
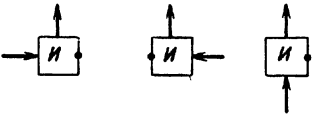
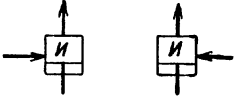
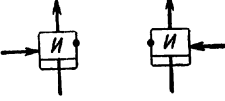
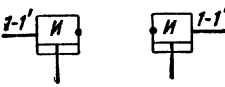
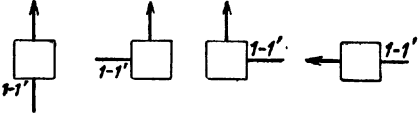
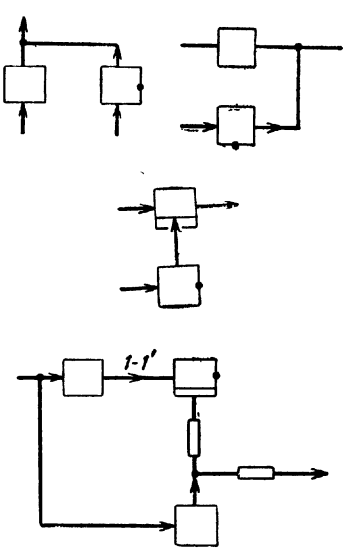


Рис. V.105. Схема логической операции совпадения.

ходов схем И—НЕ такое же, что и для схемы сборки ИЛИ—НЕ. Комбинируя схему И—НЕ со схемами ИЛИ—НЕ (рис. V.105), возможно осуществление логической операции совпадения одного данного сигнала с рядом сигналов, число которых определяется п. 5.

ТАБЛИЦА V.20

Варианты условных обозначений на функциональных схемах	Характеристика схемы включения микро модуля
	<p>Типовое включение: выводы 3-3' и 7-7' подключены к источнику — 6,3 в, 9-9' и 10-10' — к источнику смещения +6,3 в; 5-5'; 6-6' и 11-11' — заземлены</p>
	<p>Выводы 3-3' или 7-7' свободны, остальные — по типовому включению</p>
	<p>Выводы 5-5' или 6-6' или 11-11' не заземлены, остальные — по типовому включению</p>
	<p>Выводы 3-3' или 7-7' свободны, 5-5' или 6-6' или 11-11' не заземлены, остальные — по типовому включению</p>
	<p>Выводы 3-3' или 7-7', 4-4' или 12-12', 9-9' или 10-10' свободны, 2-2' или 8-8' подключены к источнику 6,3 в, 5-5' или 6-6' или 11-11' — заземлены, 1-1' — сигнальный вход</p>
	<p>Выводы 4-4' или 12-12', 9-9' или 10-10' свободны, 1-1' — сигнальный вход, остальные — по типовому включению</p>

Варианты условных обозначений на функциональных схемах	Характеристика схемы включения микромодуля
	<p>Схема ИЛИ — НЕ</p> <p>Схема И — НЕ</p> <p>Инвертор каскодный „ИК“</p>

8. Одна из важнейших и наиболее распространенная в вычислительной технике схема запоминания — статический триггер — создается с помощью двух схем ИЛИ — НЕ (рис. V.106,а) или двух И — НЕ, выходы которых объединены с выходами схем НЕ, осуществляющих запоминание (рис. V.106,б).

На оба входа схемы (рис. V.106,а) подается высокий входной уровень потенциала с выходов других логических элементов системы. Установка триггера в положение «1», характеризующееся наличием низкого выходного уровня потенциала на левом плече и высоким выходным уровнем потенциала на правом плече, производится посредством подачи на правый вход низкого входного уровня потенциала.

В триггере рис. V.106,б для установки в положение «1» или «0» необходимо одновременно на правые или левые входы схемы И — НЕ подать низкие входные уровни потенциала. Следует обратить внимание на недопу-

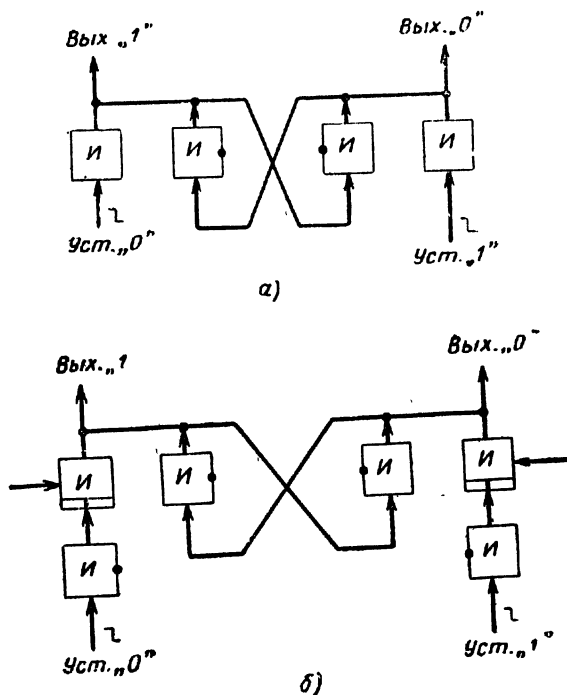


Рис. V.106. Статистический триггер:
а — на схемах ИЛИ — НЕ; б — на схемах И — НЕ.

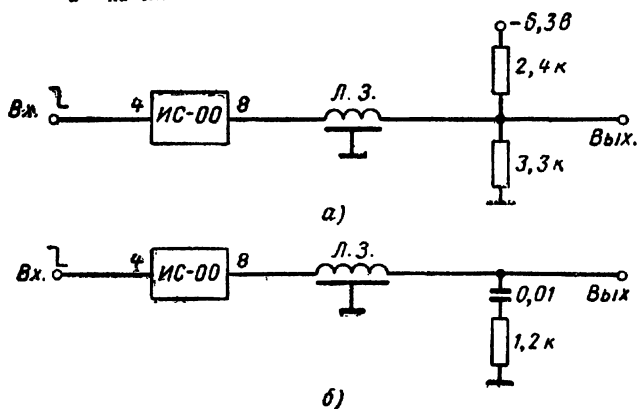


Рис. V.107. Схемы задержки:
а) $m=1$, б) $m=2$.

стимость нагрузки триггера непосредственно на микро-модуль ИС-00, так как в некоторых случаях это может привести к ложному срабатыванию.

9. К выходу микромодуля ИС-00 можно подключить линию задержки (рис. V.107). Обе схемы рассчитаны на

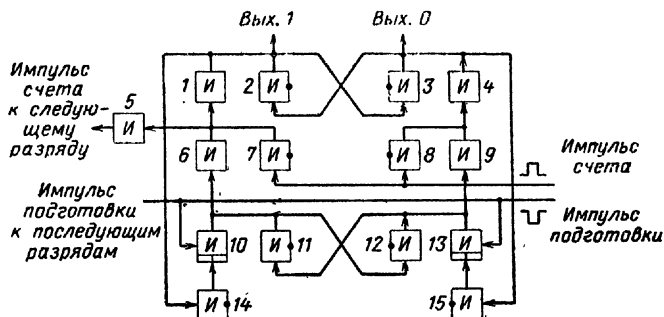


Рис. V.108. Схема одного разряда счетчика с последовательным переносом.

передачу положительного сигнала относительно низкого уровня потенциала, длительностью не более удвоенного времени задержки. Требуемые параметры линии задержки: $\rho=1\ 200\ \text{ом}$, $\tau_3=2\ \text{мксек}$, затухание амплитуды сигнала в линии не более 20%.

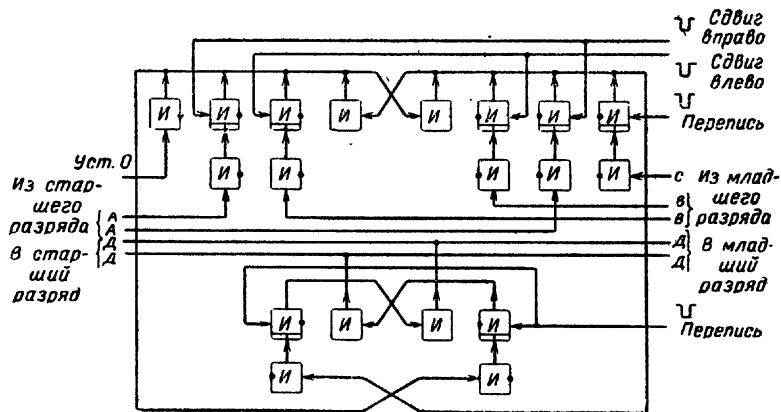


Рис. V.109. Схема разряда сдвигового регистра влево и вправо с установкой в «0» и схемой приема.

В качестве примеров более сложных логических схем, являющихся типовыми узлами ЦВУ, можно привести одноразрядный счетчик (делитель частоты), один разряд сдвигового регистра и один разряд двоичного сумматора.

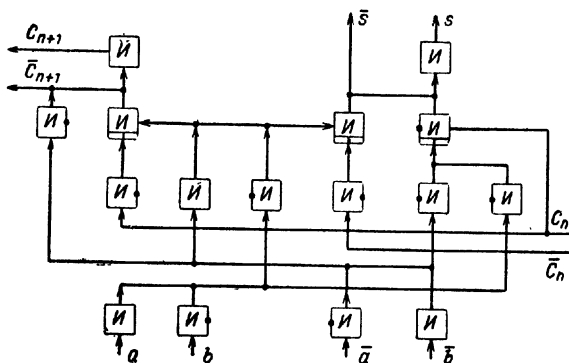


Рис. V.110. Схема одноразрядного двоичного комбинационного сумматора.

Схема одного разряда счетчика с последовательным переносом приведена на рис. V.108.

Схема разряда сдвигового регистра влево и вправо с установкой в «0» и схемой приема приведены на рис. V.109.

Схема одноразрядного двоичного комбинационного сумматора показана на рис. V.110.

V.2.9. Микромодули для ЦВМ на динамических инверторах

Микромодули ИД-00 (динамический инвертор первого типа), ИД-01 (динамический инвертор второго типа) и ВН-2 (вентиль резервированный) предназначены для использования в логических схемах ЦВМ.

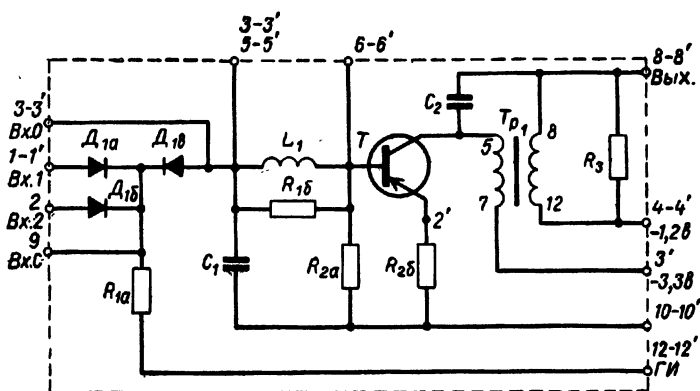
Питающие напряжения и их допустимые отклонения, включая пульсации, для микромодулей ИД-00 и ИД-01 в соответствии с условиями эксплуатации указаны в табл. V.21.

Принципиальная электрическая схема микромодулей ИД-00 и ИД-01 приведена на рис. V.111. Действие ми-

ТАБЛИЦА V.21

Напряжение	Номинальное значение	Допустимое отклонение		Примечание
		при $t = -60^{\circ} \div +70^{\circ} \text{C}$	при $t = +5^{\circ} \div +50^{\circ} \text{C}$	
E_k	-3,3*	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	При ΔE больше $\pm 10\%$ отклонения всех питающих напряжений должны происходить одновременно и в одну сторону
$E_{см}$	-1,2	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	
$U_{ГН}$	-12,6	$\pm 0,5 \text{ в}$	$\pm 1 \text{ в}$	

* Допускается питание от источника $-6,3 \text{ в} \pm 10\%$, через фильтр.



R_{1a}	Резистор ССНМ-0,05-4,7	ком $\pm 10\%$	2-6	ИД-00
$R_{1б}$		6,8 ком $\pm 10\%$	1-10	
$R_{1в}$		820 ом $\pm 10\%$	1-9	ИД-01
R_{2a}	Резистор ССНМ-0,05-820	ом $\pm 10\%$	3-6	ИД-00
$R_{2б}$		12 ом $\pm 10\%$	6-10	
R_3	Резистор СЗ-4-1,5	ком $\pm 10\%$	1-4	ИД-00
C_1	Конденсатор КМК-2-М75-330	пф $\pm 5\%$	1-8	
C_1		120 пф $\pm 5\%$	1-8	ИД-01
C_2	Конденсатор КМГМ-0,01	мкф $\pm 20\%$	1-8	ИД-00
L_1	Индуктивность ИФМ-160	мкГн $\pm 5\%$	2-4	
L_1		100 мкГн $\pm 5\%$	2-4	ИД-01
Tp_1	Трансформатор ММТИ-12-II			$D_{1a},$ $D_{1б},$ $D_{1в}$
D_1	Диод 1ДМ505А			

Рис. V.111. Принципиальная схема микромодулей ИД-00 и ИД-01.

кромодулей основано на динамическом принципе с инверсией поступающего на вход сигнала.

Основные положения инверсной динамической системы следующие:

— единственный сигнал представлен в виде положительного импульса определенной длительности, а нулевой сигнал — отсутствием импульса;

— при подаче на вход инверсного динамического триггера единичного сигнала на его выходе появится

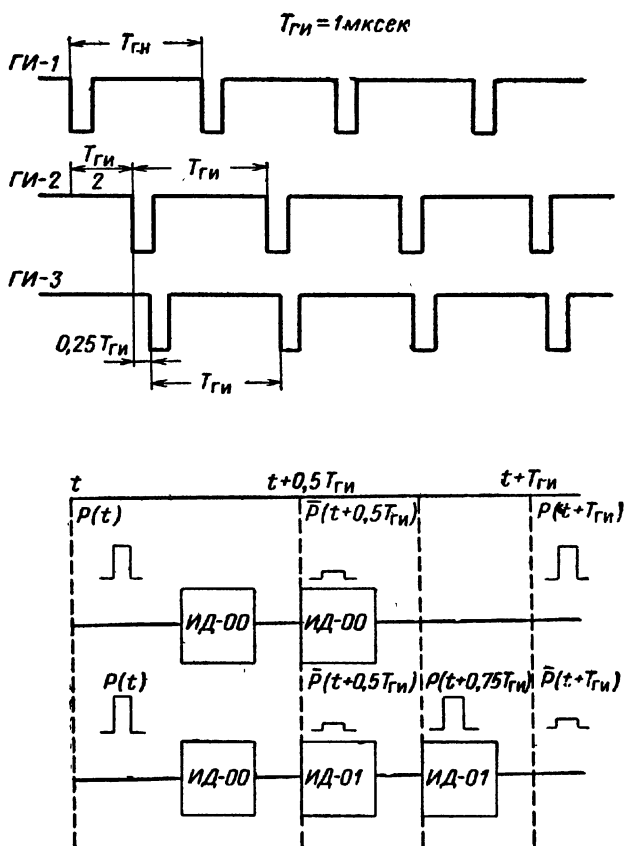


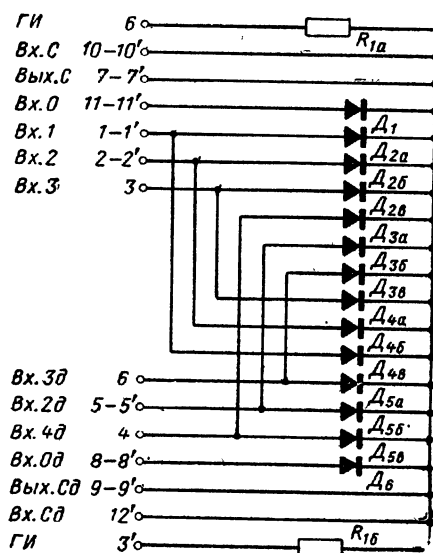
Рис. V.112. Эпюры напряжений инверсной динамической системы.

инверсный нулевой сигнал, задержанный на определенный промежуток времени;

— задержка элемента ИД-00 около 0,5 мксек, задержка элемента ИД-01 около 0,25 мксек;

— сигналы на входе и на выходе элементов синхронизируются отрицательными главными импульсами, поступающими на элементы от трех источников (ГИ-1, ГИ-2, ГИ-3);

— импульсы генераторов ГИ-1, ГИ-2 и ГИ-3 следуют с частотой $F_{\text{и}} = 1 \text{ МГц}$ со следующими сдвигами относительно друг друга: $\Delta\tau_{1,2} = 0,5 \pm 0,05 \text{ мксек}$, $\Delta\tau_{1,3} = 0,75 \pm 0,05 \text{ мксек}$, $\Delta\tau_{2,3} = 0,25 \pm 0,03 \text{ мксек}$;



R_{1a}	Резистор ССНМ-0,05-4,7 ком $\pm 10\%$	3-7
R_{1b}	Резистор ССНМ-0,05-4,7 ком $\pm 10\%$	1-10
D_1, D_5	Диод ДММЗВП	1-6
$D_{2a} \div D_{5a}$	Диод 1ДМ505А	1-7
$D_{2b} \div D_{5b}$	Диод 1ДМ505А	2-7
$D_{2c} \div D_{5c}$	Диод 1ДМ505А	3-7

Рис. V.113. Принципиальная схема микромодуля ВН-2.

— элементы ИД-00 синхронизируются импульсами ГИ-1 и ГИ-2, элементы ИД-01 — импульсами ГИ-2 и ГИ-3.

Использование микромодулей ИД-00 совместно с микромодулями ИД-01 дает возможность от одного сигнала через одинаковый промежуток времени, равный периоду повторения, получить как прямой, так и обратный сигнал, т. е. возможна передача информации в прямом и обратном кодах в один и тот же момент времени, что необходимо для выполнения различных логических операций. Работа инверсной динамической системы поясняется рис. V.112.

Выполнение простейших логических операций ИЛИ—И осуществляется с помощью диодных логических узлов на входе каждого инвертора. Микромодули ВН-2 служат для увеличения количества резервированных входов ИЛИ—И. Принципиальная схема микромодуля ВН-2 приведена на рис. V.113.

V.2.10. Микромодули для усилителей записи и считывания

Микромодули предназначены для построения усилителей записи и считывания матричных запоминающих устройств. На микромодулях могут быть выполнены:

— усилители считывания с амплитудой входного сигнала от 5 до 150 *мв* и отношением сигнала к помехе не менее 3. В качестве нагрузки могут быть использованы входы ферродиодной ячейки, ферротранзисторной ячейки или статического триггера;

— усилители записи с амплитудой тока выходного импульса до 300 *ма*. В качестве источников сигнала для усилителей записи применяются ферродиодные и ферротранзисторные ячейки и статический триггер.

Наименования и параметры микромодулей для усилителей записи и считывания приведены в табл. V.22. Характеристики некоторых микромодулей приведены в приложении 4.

Усилитель импульсный УИ-02 (см. рис. V.51) применяется в качестве каскада предварительного усиления и служит для усиления малых сигналов, поступающих на его вход с обмоток считывания матричного запоми-

нающего устройства (МЗУ) после прохождения через входной трансформатор, входящий в состав микромодуля СЦ-00. С этой целью рабочая точка выбрана в середине линейного участка амплитудной характеристики. Для обеспечения такого режима микромодуль должен использоваться с делителем $R_1=5,1 \text{ ком} \pm 5\%$, $R_2=$

ТАБЛИЦА V.22

Наименование микромодулей	Максимальная частота, кГц	Примечание
Усилитель импульсный УИ-02	100	При $E_k = -6,3 \text{ в} \pm 10\%$
Усилитель импульсный УИ-03	50	При $E_k = -6,3 \text{ в} \pm 10\%$
Усилитель импульсный УИ-04	50	При $E_k = -6,3 \text{ в} \pm 10\%$
Усилитель импульсный УИ-05	50	При $E_k = -6,3 \text{ в} \pm 10\%$
Усилитель импульсный УИ-08	100	При $E_k = -6,3 \text{ в} \pm 10\%$
Согласующая цепь СЦ-00	100	При $\tau = 3 \text{ мксек}$
Согласующая цепь СЦ-01	—	При $E_k = -12,6 \text{ в} \pm 10\%$ $E_b = -1,2 \text{ в} \pm 10\%$
Ограничитель ОГ-00	100	При $E_k = -6,3 \text{ в} \pm 10\%$ $E_b = +6,3 \text{ в} \pm 10\%$
Источник напряжения ограничения ИО-00	—	
Инвертор-повторитель ИП-00	100	При $E_k = -12,6 \text{ в} \pm 10\%$
Фильтр развязки ФР-00	100	При скважности $Q=3$

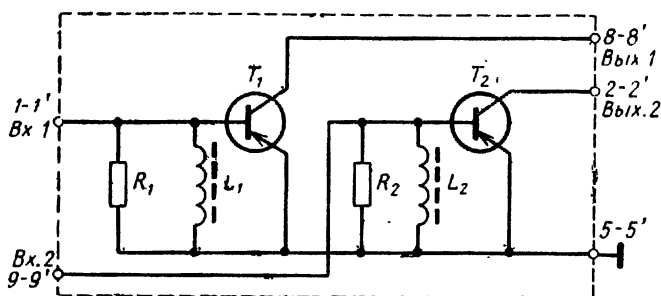
$=2 \text{ ком} + 5\%$, с которого подается постоянное смещение на базу триода.

Для увеличения чувствительности усилителя считывания допускается каскадное включение двух микромодулей УИ-02. В этом случае нагрузкой для первого микромодуля будет служить входное сопротивление второго микромодуля того же типа, и отрицательное смещение на базу триода во втором микромодуле будет подаваться с коллектора триода первого микромодуля (вывод 8-8'). Во втором микромодуле в качестве выхода используется вывод 12-12'. Рабочая точка в этом микромодуле выбрана также в середине линейного участка, что делает возможным усиление сигнала обеих полярностей.

Усилитель импульсный УИ-03 (рис. V.114) применяется в усилителях записи и усилителях считывания

в качестве выходного каскада. Усилитель работает в режиме насыщения и служит для усиления тока.

Для получения на выходе каждого из триодов, входящих в состав микромодуля, импульса тока $I_k = 95 \text{ ма} \pm 20\%$ с временными параметрами $\tau_n \leq 3,6 \text{ мксек}$, $\tau_\phi \leq 0,5 \text{ мксек}$, $\tau_c \leq 0,5 \text{ мксек}$, на вход усилителя должны подаваться импульсы тока с амплитудой не менее 32 ма



R_1, R_2	Резистор СЗ-4-470 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
T_1, T_2	Транзистор ТМ-5В	
L_1, L_2	Индуктивность ИФМ-63 $\text{мкГн} \pm 5\%$	1-5

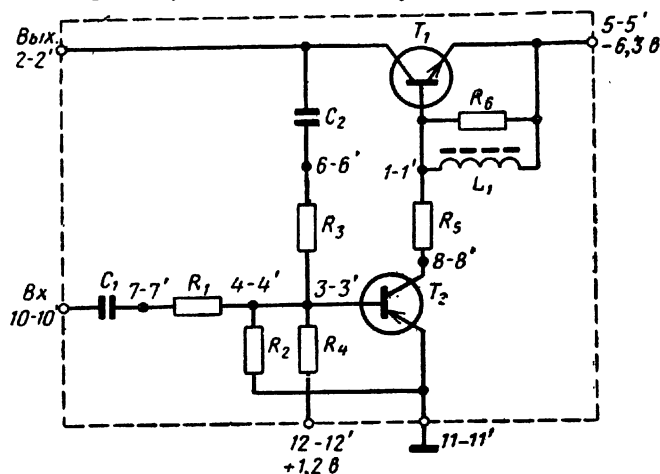
Рис. V.114. Принципиальная схема микромодуля УИ-03.

на каждый триод. Общий ток, получаемый от микромодуля, равен $150 \text{ ма} \pm 10\%$. При необходимости получения выходного тока, большего, чем указанный (до $300 \text{ ма} \pm 20\%$), используется параллельное соединение двух микромодулей.

Ограничительные сопротивления, включенные в цепь коллектора каждого из триодов, вынесены за пределы микромодуля, так как мощность, рассеиваемая на них, значительно превышает допустимую мощность рассеивания в микромодуле.

Усилитель импульсный УИ-04 (рис. V.115) применяется в усилителях записи в качестве входного каскада. Микромодуль согласовывает выходной каскад с предыдущим, а также формирует сигнал по длительности. Благодаря применению положительной обратной связи микромодуль имеет релейную характеристику чувствительности по входу.

На вывод 12-12' подается постоянное положительное смещение $+1,2 \text{ в} \pm 10\%$. Величина напряжения смещения определяет чувствительность микромодуля. Чувствительность микромодуля может быть увеличена за счет шун-



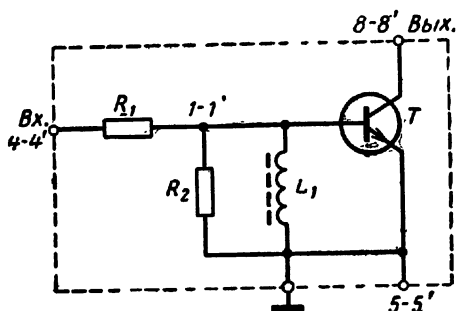
R_1	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-750 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_4	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-390 $\text{ом} \pm 10\%$	1-8
R_6	Резистор СЗ-4-750 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КМПИМ-1000 $\text{пф} \pm 10\%$	1-4
C_2	Конденсатор КМПИМ-1500 $\text{пф} \pm 10\%$	1-5
T_1	Транзистор ТМ-3В	
T_2	Транзистор ТМ-4В	
L_1	Индуктивность ИФМ-160 $\text{мкГн} \pm 5\%$	1-5

Рис. V.115. Принципиальная схема микромодуля УИ-04.

тирования входного сопротивления R_1 емкостью C_1 при этом в качестве входа используется вывод 7-7', а вывод 10-10' соединяется с выводом 4-4'.

Усилитель записи питается от источника напряжения $-6,3 \text{ в} \pm 10\%$. Для обеспечения необходимой длительности выходного импульса сопротивление R_5 шунтируется внешним сопротивлением величиной 2,2 ком , которое подключается к выводам 1-1' и 8-8'.

Усилитель импульсный УИ-05 (рис. V.116) применяется в усилителях считывания. Микромодуль обеспечивает временную селекцию полезного сигнала при использовании его совместно с микромодулем УИ-04. При этом амплитуда входного импульса микромодуля УИ-05 должна быть не менее 5,7 в.



R_1	Резистор СЗ-4-390 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-750 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
T	Транзистор ТМ-3В	
L_1	Индуктивность ИФМ-160 $\text{мкГн} \pm 5\%$	1-5

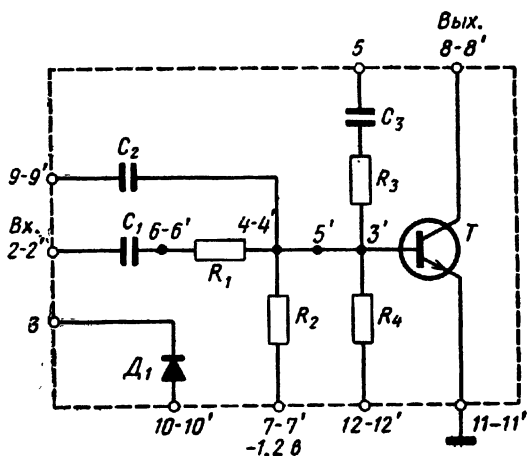
Рис. V.116. Принципиальная схема микромодуля УИ-05.

Усилитель импульсный УИ-08 (рис. V.117) применяется в усилителях записи в качестве входного каскада при положительной полярности входного сигнала. Входной сигнал подается на вывод 2-2'. Цепочка R_3C_3 используется для образования положительной обратной связи путем подсоединения вывода 5 к выходу микромодуля УИ-03, совместно с которым он используется. В этом случае при входном токе $I_{\text{вх мин}} \approx 10 \text{ ма}$ выходной ток микромодуля УИ-08 будет равен 40 ма.

Самостоятельно микромодуль может работать в качестве инвертора с выходным током не более 70 ма и $I_{\text{и вх}} \approx I_{\text{и вых}}$ при $\tau_{\text{и вх}} = 5 \text{ мксек}$ ($\tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{с}} \leq 1 \text{ мксек}$ и $f = 50 \text{ кГц}$). При работе с выходным током $I_{\text{к}} \geq 50 \text{ ма}$ ($f = 50 \text{ кГц}$ и $\tau_{\text{и вх}} = 5 \text{ мксек}$) входной ток может быть уменьшен до значения, при котором $(\tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{с}}) \leq 3 \text{ мксек}$.

Допускается использовать в качестве входа выводы 9-9' и 5, при этом для образования положительной об-

ратной связи может быть использована цепочка R_1C_1 (вывод 2-2'). Диод используется в случае необходимости исключения срабатывания усилителя от отрицательных импульсов.



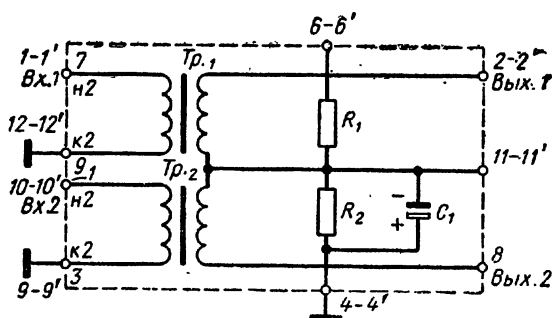
R_1	Резистор СЗ-4-470 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-1,5 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-750 $\text{ом} \pm 10\%$	1-5
R_4	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМПМ-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-5
C_2, C_3	Конденсатор КМПМ-1500 $\text{нф} \pm 10\%$	1-5
D_1	Диод ДММЗВП	
T	Транзистор ТМ-ЗВ	

Рис. V.117. Принципиальная схема микромодуля УИ-08.

Согласующая цепь СЦ-00 (рис. V.118) предназначена для согласования малого выходного сопротивления источника входных импульсов (выходная обмотка матрицы магнитного запоминающего устройства) с входными сопротивлениями усилителей. Микромодуль содержит два трансформатора для использования в однополярных или двухполярных усилителях считывания. При однополярном сигнале используется один трансформатор; при двухполярном сигнале первичные обмотки трансформаторов Tr_1 и Tr_2 соединяются параллельно.

Согласующая цепь СЦ-01 (рис. V.119) применяется в усилителях считывания в качестве выходного каскада. Микро модуль согласовывает выходной каскад с предыдущим, а также формирует сигнал по длительности. Благодаря применению обратной связи микро модуль имеет релейную характеристику чувствительности по входу.

В случае подключения микро модуля к выходу эмиттерного повторителя (в усилителях считывания) выводы 3-3' и 7-7' микро модуля СЦ-01 соединяются между собой для увеличения его чувствительности. На вывод 12-12' подается положительное температурозависимое



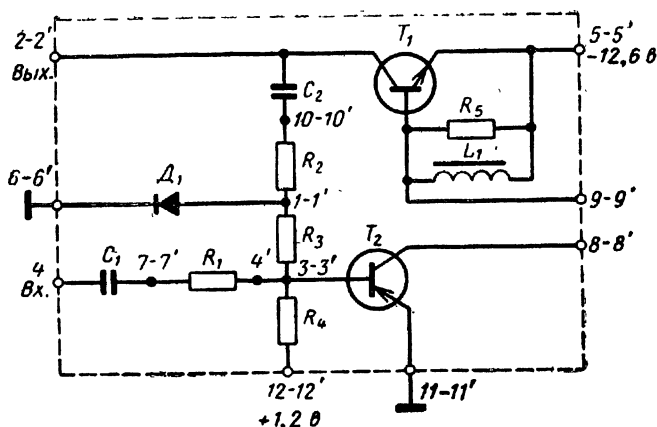
R_1	Резистор СЗ-4-2,4 $\text{ком} \pm 5\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 5\%$	1-8
C_1	Конденсатор КОПМ-6-4,7 $\text{мкф} \pm 10\%$	1-8
$Тр_1$	Трансформатор импульсный ММТИ-11-III	
$Тр_2$	Трансформатор импульсный ММТИ-11-III	

Рис. V.118. Принципиальная схема микро модуля СЦ-00.

смещение (с выхода микро модуля — источник напряжения ограничения).

Величина напряжения смещения определяет чувствительность микро модуля. Чувствительность микро модуля может быть увеличена за счет шунтирования входного сопротивления R_1 емкостью C_1 , при этом в качестве входа используется вывод 7-7', а вывод 4 соединяется с выводом 3-3'.

В усилителях считывания микро модуль используется при напряжении питания $-12,6 \text{ в} \pm 10\%$. Между выво-



R_1, R_4	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3	Резистор СЗ-4-130 $\text{ом} \pm 5\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-750 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
C_1	Конденсатор КМК-3-М750-1000 $\text{нф} \pm 10\%$	1-5
C_2	Конденсатор КМК-3-М1500-1500 $\text{нф} \pm 10\%$	1-5
D_1	Диод ДММЗВП	
T_1	Транзистор ТМ-3В	
T_2	Транзистор ТМ-3Г	
L_1	Индуктивность ИФМ-160 $\text{мкгн} \pm 5\%$	1-4

Рис. V.119. Принципиальная схема микромодуля СЦ-01.

дами 8-8' и 9-9' включается внешнее сопротивление, равное 1 ком.

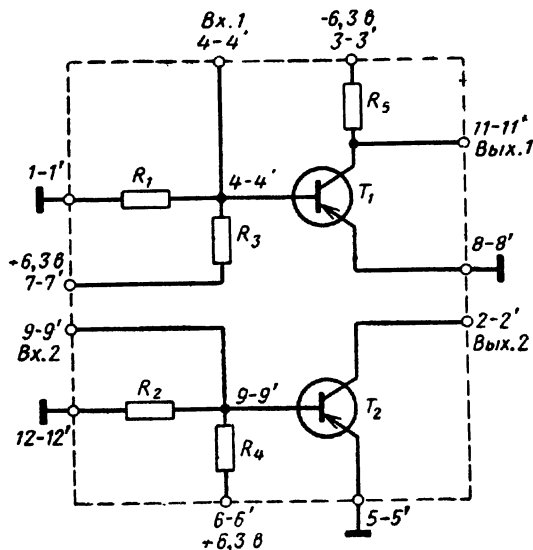
Ограничитель ОГ-00 (рис. V.120) используется в усилителях считывания для амплитудного ограничения сигнала по минимуму с целью подавления помех, не превышающих $1/3$ от амплитуды сигнала. При этом на оба входа (выводы 4-4' и 9-9') подаются импульсы сигналов, а на выводы 6-6' и 7-7' — постоянное положительное смещение.

Микромодуль может быть использован в качестве стробирующего каскада. При этом оба триода микромодуля соединяются последовательно, на один из входов подается импульс сигнала, а на другой — стробирующий импульс, на выводы 7-7' и 6-6' — напряжение смещения.

Микромодуль может быть использован для получе-

ния логической схемы ИЛИ. Для этого триоды соединяются параллельно: вывод 11-11' — с выводом 2-2', а вывод 4-4' — с выводом 9-9'.

Источник напряжения ограничения ИО-00 (рис. V.121) построен по схеме усилителя постоянного



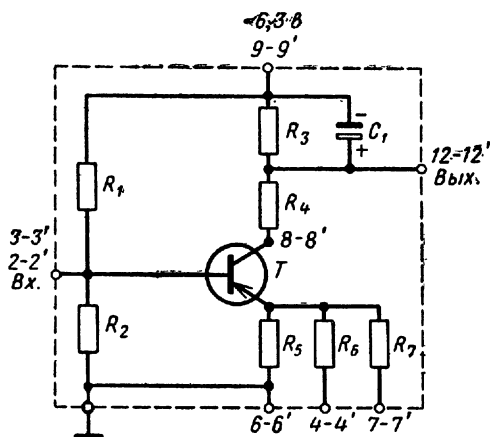
R_1, R_2	Резистор СЗ-4-680 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_3, R_4	Резистор СЗ-4-10 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-6,2 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
T_1, T_2	Транзистор ТМ-4В	

Рис. V.120. Принципиальная схема микромодуля ИО-00.

тока и служит для получения на выходе (вывод 12-12') напряжения, зависящего от температуры окружающей среды. Максимальная нагрузочная способность микромодуля составляет 4 усилителя (сопротивление нагрузки 620 ом).

При использовании микромодуля ИО-00 в составе усилителей считывания потенциал с вывода 12-12' подается на вывод 12-12' микромодуля СЦ-01. В зависимости от нагрузки устанавливается величина сопротивления обратной связи.

При работе на один усилитель (сопротивление нагрузки 2,4 ком) в качестве сопротивления обратной связи используется сопротивление $R_5=100$ ом. При работе на два усилителя выводы 6-6' и 7-7' соединяются между собой (уменьшается сопротивление обратной связи). При нагрузке микромодуля на 3 усилителя соединяются между собой выводы 6-6' и 4-4', а при нагрузке на 4 усилителя — выводы 6-6', 4-4' и 7-7' (минимальные сопротивления обратной связи).



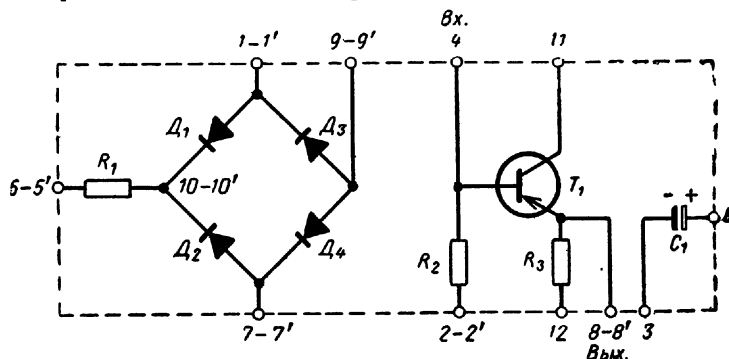
R_1	Резистор СЗ-4-5,1 ком $\pm 5\%$	1-8
R_2, R_4	Резистор СЗ-4-470 ом $\pm 5\%$	1-5
R_3	Резистор СЗ-4-470 ом $\pm 10\%$	1-4
R_5	Резистор СЗ-4-100 ом $\pm 5\%$	1-8
R_6	Резистор СЗ-4-390 ом $\pm 10\%$	1-8
R_7	Резистор СЗ-4-620 ом $\pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КОПМ-6-4,7 мкф $\pm 20\%$	1-4
T	Транзистор ТМ-5В	

Рис. V.121. Принципиальная схема микромодуля ИО-00.

Инвертор-повторитель ИП-00 (рис. V.122) состоит из двух частей: диодного моста и эмиттерного повторителя, не связанных между собой электрически. Диодный мост служит для преобразования двухполярного сигнала в однополярный (отрицательной полярности). Эмит-

терный повторитель применяется для согласований выходного сопротивления микро модуля УИ-02 с входным сопротивлением микро модуля СЦ-01.

В однополярных усилителях считывания применяется лишь эмиттерный повторитель, который при этом работает от источника питания напряжением $-12,6 \pm 10\%$. В двухполярных усилителях используется либо один диодный мост, либо диодный мост совместно с эмиттерным повторителем. Последний при этом питается от источни-



R_1, R_2	Резистор СЗ-4-5,1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-8
R_3	Резистор СЗ-4-1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-5
C_1	Конденсатор КОПМ-6-4,7 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-4
$D_1 - D_4$	Диод ДММЗВП	
T	Транзистор ТМ-4В	

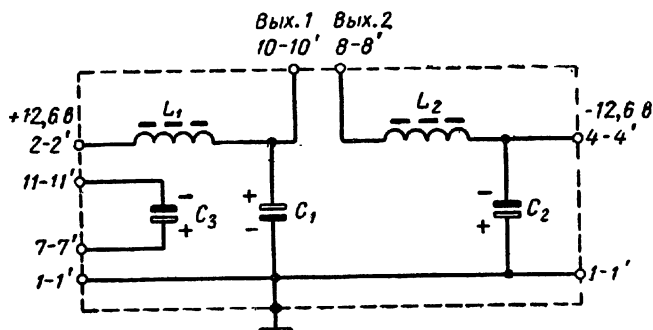
Рис. V.122. Принципиальная схема микро модуля ИП-00.

ка напряжением $+6,3$ в («плюс» источника подается на вывод 12). Вывод 9-9' соединяется с выводом 4. Для уменьшения падения напряжения полезного сигнала на диодах на мост подается постоянное смещение от источника напряжением $-12,6$ в, которое открывает диоды («минус» источника подается на вывод 5-5', вывод 2-2' соединен с «землей»).

На базу триода с моста подается отрицательное смещение $-2,3$ в относительно вывода 12. Выводы 1-1' и 7-7' соединяются с выходами микро модуля УИ-02.

Фильтр развязки ФР-00 (рис. V.123) предназначен для развязки усилителей считывания по цепям питания.

Микромодуль состоит из двух фильтрующих ячеек, одна из которых предназначена для работы от источника отрицательного напряжения, вторая — для работы от источника положительного напряжения. Конденсатор C_3 в зависимости от необходимости подсоединяется либо параллельно конденсатору C_1 , либо параллельно конденсатору C_2 .



C_1, C_2	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-4
C_3	Конденсатор КОПМ-15-3,3 $\text{мкф} \pm 20\%$	1-5
L_1, L_2	Индуктивность ИФМ-1600 $\text{мкГн} \pm 5\%$	1-5

Рис. V.123. Принципиальная схема микромодуля ФР-00.

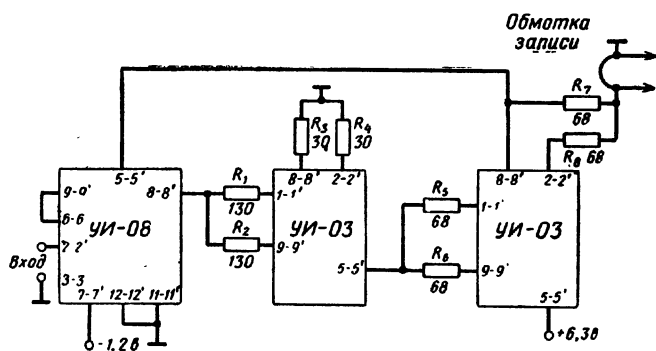


Рис. V.124. Блок-схема усилителя записи с ФТЯ и ФДЯ ($I_{\text{вых}} = 150 \text{ ма}$).

В зависимости от источника входного сигнала и требуемой величины выходного импульса тока может применяться один из перечисленных усилителей записи:

— усилитель записи с ферродиодной или ферротранзисторной ячейкой на входе и током $I_{\text{ВЫХ}} = 150 \text{ ма} \pm 20\%$ (рис. V.124);

— усилитель записи с ферродиодной или ферротранзисторной ячейкой на входе и током $I_{\text{ВЫХ}} = 300 \text{ ма} \pm 20\%$ (рис. V.125);

— усилитель записи со статического триггера и током $I_{\text{ВЫХ}} = 150 \text{ ма} \pm 20\%$ (рис. V.126);

— усилитель записи со статического триггера и током $I_{\text{ВЫХ}} = 300 \text{ ма} \pm 20\%$ (рис. V.127).

В схеме рис. V.126 изменением величины сопротивления, включенного параллельно сопротивлению R_5 микромодуля УИ-04, можно менять длительность, фронт и спад выходных импульсов, а также чувствительность усилителя.

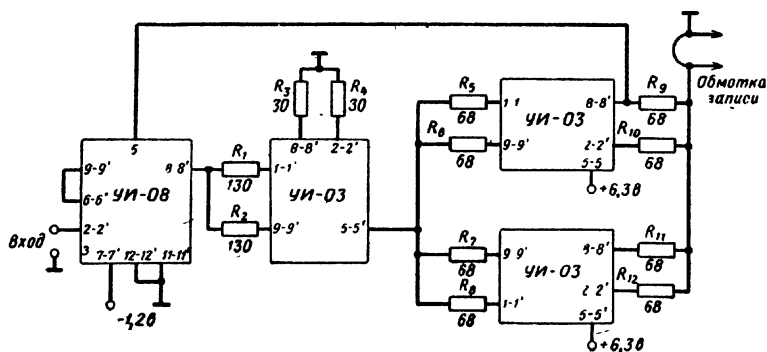


Рис. V.125. Блок-схема усилителя записи с ФТЯ и ФДЯ ($I_{\text{ВЫХ}} = 300 \text{ ма}$).

Усилители считывания выполняют функции усиления и формирования импульсов сигналов информации, снимаемых с обмоток считывания куба памяти. На выходе усилителя считывания могут быть ферродиодная и ферротранзисторная ячейка, а также статический триггер. Усилители могут быть одноканальными при однополярном сигнале на входе и двухканальными при двухполярном сигнале на входе (рис. V.128—V.130).

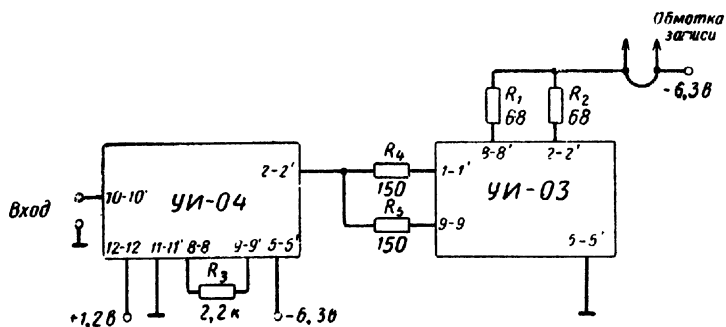


Рис. V.126. Блок-схема усилителя записи со статического триггера ($I_{\text{вых}}=150 \text{ ма}$).

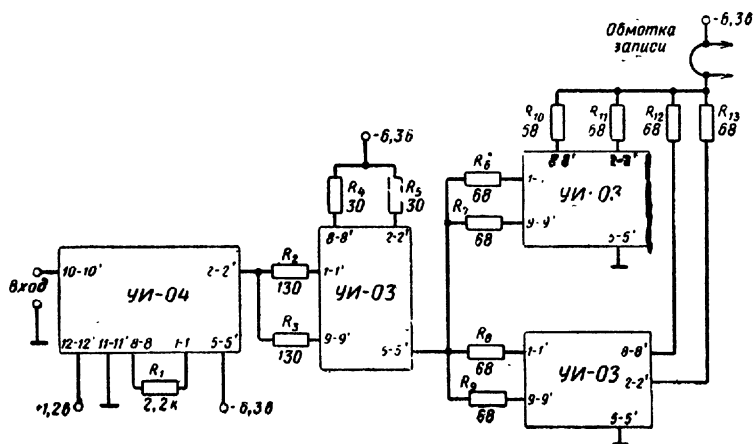


Рис. V.127. Блок-схема усилителя записи со статического триггера ($I_{\text{вых}}=300 \text{ ма}$).

При работе усилителя на ферродиюдную или ферротранзисторную ячейку оконечным каскадом является формирователь с $R_n = 240 \text{ ом} \pm 10\%$, при работе на статический триггер — формирователь с внешним делителем $R = 200 \text{ ом}$ и $R = 270 \text{ ом}$ (рис. V.128—V.130).

При изменении сопротивлений делителя можно снимать любую часть выходного напряжения, при этом следует учитывать, что $U_{\text{вых мин}} = 10,8 \text{ в.}$

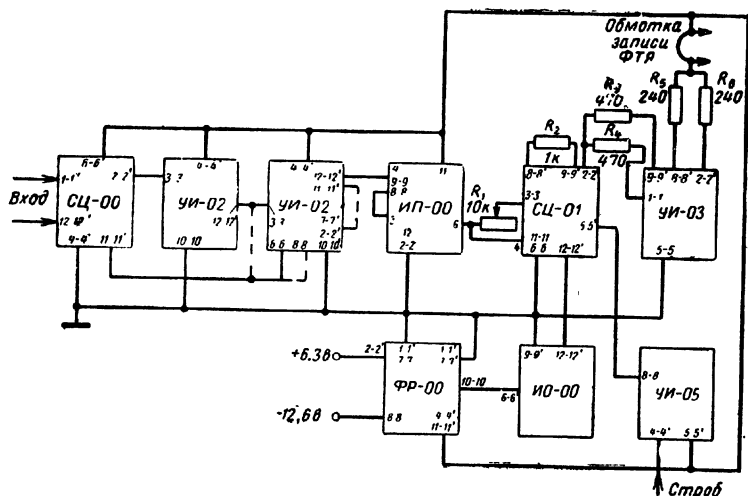


Рис. V.128. Блок-схема одноканального усилителя считывания с выходом на ФТЯ.

Все усилители считывания разбиваются на 4 группы. Каждая группа имеет один из следующих диапазонов чувствительности: 5—20 мв, 15—45 мв, 35—95 мв, 85—250 мв.

На рис. V.128 и V.129 приведены схемы усилителей считывания для первых 3 диапазонов чувствительности одноканальных усилителей при однополярном сигнале на входе. Сплошными линиями показана коммутация 2-го микромодуля УИ-02 при работе в диапазоне 15—45 мв. При работе в диапазоне 5—20 мв закорачиваются выводы 11-11' и 7-7' (или 2-2') 2-го микромодуля УИ-02. При работе в диапазоне 35—95 мв выводы 11-11' и 7-7' (или 2-2') этого микромодуля разъединяются;

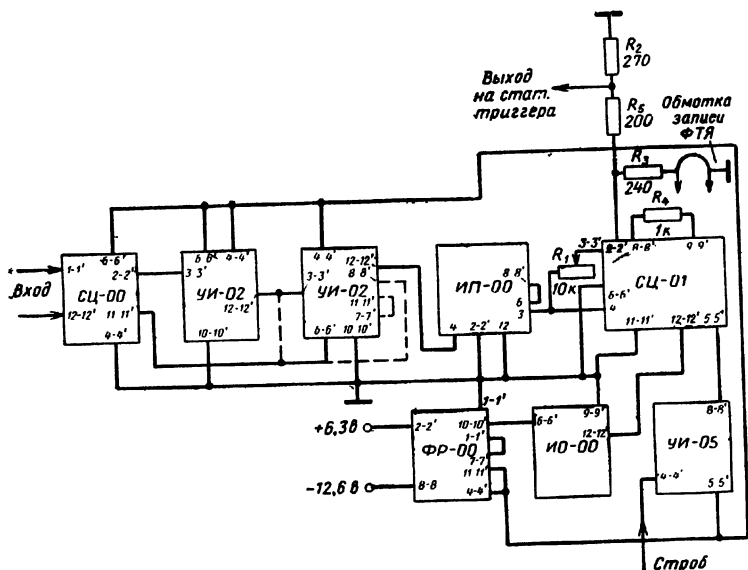


Рис. V.129. Блок-схема одноканального усилителя считывания с выходом на статический триггер или на ФДЯ.

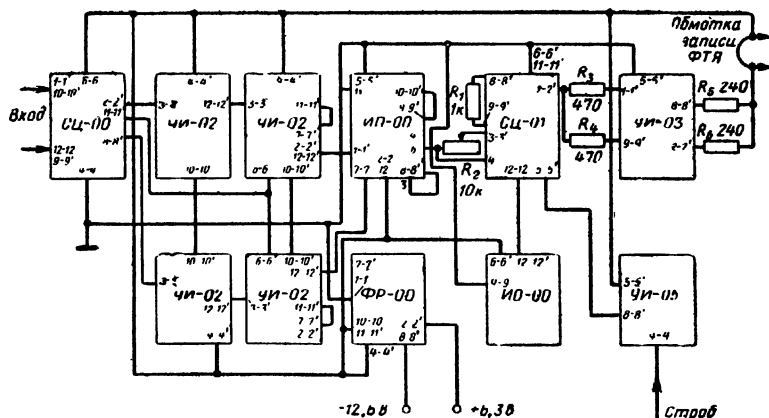


Рис. V.130. Блок-схема двухполярного усилителя считывания с выходом на ФТЯ.

вывод 6-6' отключается от вывода 11-11' микромодуля СЦ-00 и подключаются к выводу 8-8'; вывод 3-3' соединяется с выводом 11-11' микромодуля СЦ-00.

На рис. V.130 и V.131 приведены схемы усилителей считывания для диапазона чувствительности 85—250 мВ для двухканального усилителя при двухполярном входном сигнале. С помощью переменного сопротивления

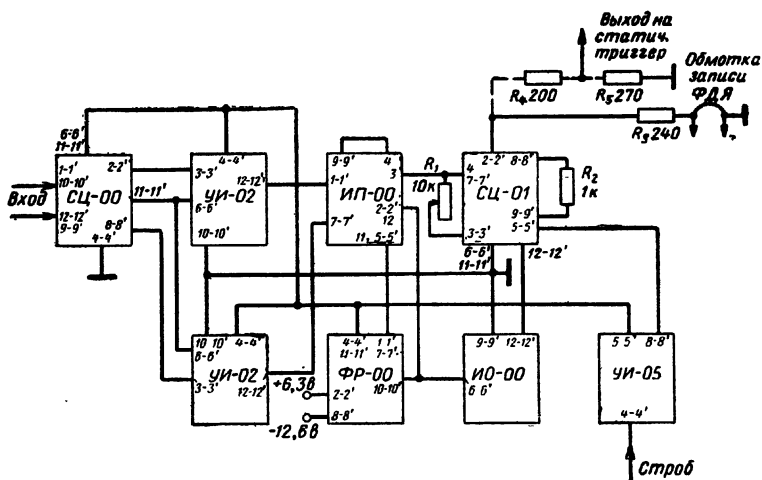


Рис. V.131. Блок-схема двухполярного усилителя считывания с выходом на ФДЯ или на статический триггер.

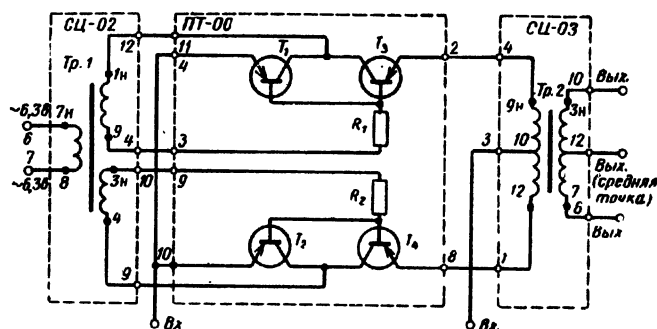
$R_1 = 10 \text{ ком}$, включенного, как показано на схемах, можно плавно менять чувствительность любого усилителя в пределах диапазона входных напряжений, при этом условие $U_{\text{вх}}/E_{\text{к}} \leq 3$ удовлетворяется при изменении в допустимых пределах температуры ($-60 \div +70^\circ \text{C}$) и питающих напряжений. Изменение напряжения срабатывания и напряжения ограничения при изменении напряжений питания и температуры приводится в табл. V.23. Длительность выходного импульса напряжения во всем диапазоне амплитуд входных сигналов и интервале температур $-60 \div +70^\circ \text{C}$ при изменении длительности стробирующих импульсов с 2 до 3 мксек и при изменении питающих напряжений на $\pm 10\%$ находится в пределах 2—3 мксек.

ТАБЛИЦА V.23

Параметр	Значение параметров в диапазонах чувствительности							
	5—20 мВ		15—45 мВ		35—95 мВ		85—250 мВ	
Температура окружающей среды, °С	+70	—60	+70	—60	+70	—60	+70	—60
Напряжение питания, В	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7	—11,3 —13,9 +6,9 +5,7
Минимальная амплитуда напряжения срабатывания, мВ	3,5 2,9	4,9 4,0	9,0 8,8	14 13	21 18	30 24	56 47	80 74
Минимальная амплитуда напряжения ограничения, мВ	3,0 2,3	4,2 3,3	8,2 7,8	12,5 10,5	14,5 14,5	25 20	50 40	74 64
Максимальное напряжение срабатывания, мВ	11,5 7,8	9 12,5	22 25	18,5 24,5	40 39	40 53	140 140	105 100
Максимальная амплитуда напряжения ограничения, мВ	9,0 7,5	7,2 8,4	18 21	16,5 22	38 36	36 48	125 135	100 90
Амплитуда ограничения при подаче на вход импульса положительной полярности, мВ	7,5	70	100	200	700	0,5	500	500

V.2.11. Модулятор постоянного тока

Модулятор постоянного тока включает микромодули: переключатель транзисторный ПТ-00, согласующие цепи СЦ-02 и СЦ-03. Электрическая схема модулятора приведена на рис. V.132.



R_1, R_2 $T_1 - T_4$ Tp_1 Tp_2	Резистор СЗ-4-510 $\text{ом} \pm 10\%$ Транзистор Т-2Б Трансформатор ММТС-7 Трансформатор ММТС-5	1-4
---	---	-----

Рис. V.132. Принципиальная схема модулятора постоянного тока.

Электрические параметры модулятора: питающее напряжение $\sim 6,3 \pm 0,6$ в с частотой 1 000 гц; ток потребления — 2,5 ма; диапазон частот опорного напряжения от 1 000 до 3 000 гц. Пределы изменения выходного напряжения модулятора, нагруженного на активное сопротивление $1 \text{ ком} \pm 10\%$ при изменении входного сигнала, следующие:

Входной ток обеих полярностей, мкА . . .	100	150	250	1000	1500
Выходное напряжение при 20°C, мВ	14—18	21—27	34—36	140—180	210—270

Модулятор постоянного тока находит применение в низкочастотных устройствах автоматики в качестве ключевого модулятора, во входных устройствах с амплитудной модуляцией сигнала постоянного тока и низким входным сопротивлением, ключевого маломощного

демодулятора в операционных усилителях, в цепях обратных связей в качестве входных устройств модуляторов нескольких сигналов с гальванической развязкой и суммированием модулированного сигнала после выходных трансформаторов и т. д.

Транзисторный переключатель ПТ-00 может автономно использоваться для двухполупериодной одноканальной или однополупериодной двухканальной ключевой модуляции сигналов постоянного тока компенсированными ключами, а также в качестве отдельных компенсированных ключей с переключением от различных источников опорного напряжения (в том числе непериодических).

Микромодули СЦ-02 и СЦ-03 могут использоваться автономно как низкочастотные трансформаторы.

V.2.12. Система микромодулей для преобразующих устройств

Система микромодулей для преобразующих устройств совместно с микромодулями других систем позволяет разрабатывать преобразователи различных типов.

Цифро-аналоговые преобразователи с числом двоичных разрядов до 7 имеют точность преобразования относительно максимального значения не хуже $\pm 0,8\%$ (без учета ухода источников эталонного питания, в диапазоне температур и при смене микромодулей), максимальное выходное напряжение ± 10 в при выходном сопротивлении 10 ком, и выходное переменное напряжение амплитудой до 10 в с частотой до 2 000 гц.

Входная информация может подаваться в виде импульсов положительной полярности, амплитудой 3,5—5,5 в, длительностью 2—3 мксек (регистр на триггерах ТС-03) или в виде положительных перепадов напряжений 5,5—6,5 в (регистр на инверторах И-018 и И-019 СИПЭ). Частота смены информации ≤ 10 кГц.

В преобразователях предусмотрена гальваническая развязка выходной цепи преобразователя цифра—аналог от цепей управления.

Аналого-цифровые преобразователи с точностью преобразования аналоговой величины в двоичный код $\pm 0,8\%$ в диапазоне температур и при смене микро-

дулей имеют максимальную величину преобразуемого напряжения ± 10 в, быстродействие преобразователя (максимальная частота изменения аналоговой величины

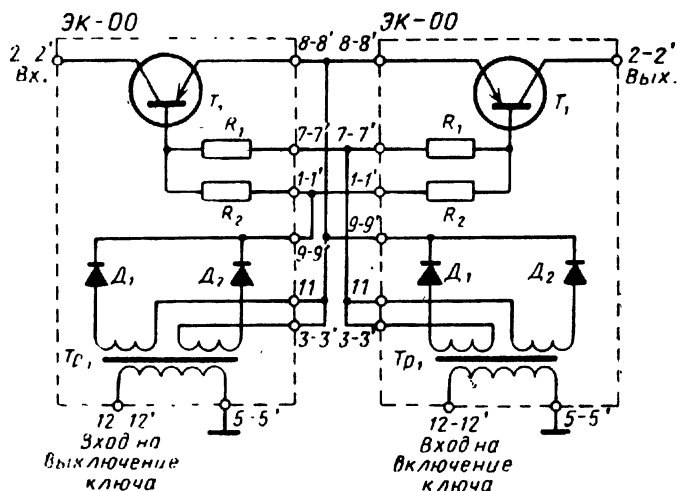


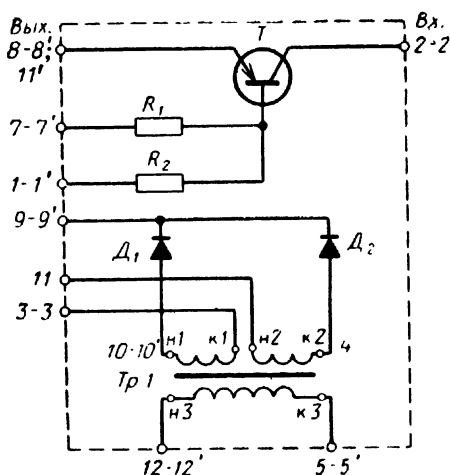
Рис. V.133. Принципиальная схема двухполярного электронного ключа.

при максимальной амплитуде) ≤ 15 кГц. Частота преобразования не менее 5 кГц, выход числовой информации—с триггерного регистра, собранного на микромодулях ТС-03, И-018, И-019 и т. д.

Преобразователи аналоговых величин в частотно-импульсную форму имеют точность преобразования $\pm 0,8\%$ (линейность) и максимальную величину частоты следования импульсов на выходе при максимальной амплитуде входного напряжения — 30 кГц.

В качестве нуля-органа, интегратора, инвертора и согласующего элемента может быть применен операционный усилитель (усилитель постоянного тока), собранный на обычных деталях.

Основным элементом системы является двухполярный электронный ключ (рис. V.133), собранный из двух микромодулей ЭК-00 (рис. V.134). Основные электрические характеристики двухполярного электронного ключа,



R_1	Резистор СЗ-4-200 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
R_2	Резистор СЗ-4-5,1 $\text{ком} \pm 10\%$	1-4
D_1, D_2	Диод 2ДМ502Г	1-6
T	Транзистор ТМ-5Г	
Tr_1	Трансформатор ММТИ-75	

Рис. V.134. Принципиальная схема микромодуля ЭК-00.

работающего в режиме коммутации переменного и постоянного напряжений, следующие:

максимально-допустимое напряжение коммутации (постоянное)	$\pm 10 \text{ в}$
амплитуда переменного напряжения коммутации	$\sim 10 \text{ в}$
частота переменного напряжения	$< 10 \text{ кгц}$
максимальное падение напряжения на открытом ключе при токе нагрузки 10 ма	100 мв
максимальный ток через закрытый ключ	50 мка
время включения и выключения	$\leq 5 \text{ мксек}$
величина напряжения импульсного питания на включение и выключение ключа при токе не более 50 ма	1 в
частота напряжения импульсного питания (форма прямоугольная)	50—100 кгц

Принципиальная схема включения электронных ключей в случае использования их в разрядах цифро-анало-

говых и аналого-цифровых преобразователях приведена на рис. V.135.

В этой схеме в качестве управляющего элемента применен электронный ключ ЭК-01. Назначение его сво-

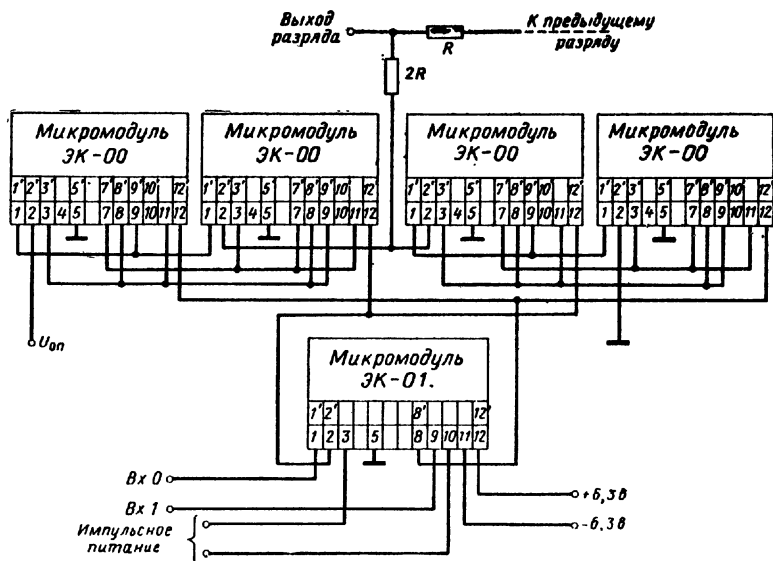


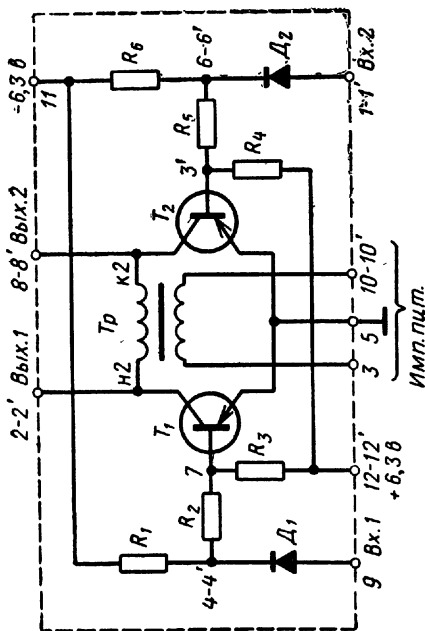
Рис. V.135. Принципиальная схема включения электронных ключей в преобразователе.

дится к подаче импульсного питания на обмотку включения или обмотку выключения электронных ключей ЭК-00. Принципиальная схема микромодуля ЭК-01 приведена на рис. V.136.

Электрические характеристики электронного ключа ЭК-01 следующие:

напряжение по входу 1 или 2 (перепады напряжений)	$-0,2 \div -6,0$ в
амплитуда импульсного питания относительно нулевого уровня	$\pm 6,0$ в
выходное напряжение на выходе 1 и 2 (переменное напряжение, частотой импульсного питания)	около 1 в.

Для нормальной работы электронных ключей необходимо специальное питание, так называемое «импульсное питание». Схема генератора импульсного питания приведена на рис. V.137. В схему импульсного питания



R_1, R_6 Резистор СЗ-4-1,8 ком $\pm 10\%$
 R_2, R_5 Резистор СЗ-4-2 ком $\pm 10\%$
 R_3 Резистор СЗ-4-10 ком $\pm 10\%$
 R_4 Резистор СЗ-4-10 ком $\pm 10\%$
 D_1, D_2 Диод 2ДМ502Г
 T_1, T_2 Транзистор 1М-5Г
 T_p Трансформатор ММТИ-30

Рис. V.136. Принципиальная схема микро модуля ЭК-01.

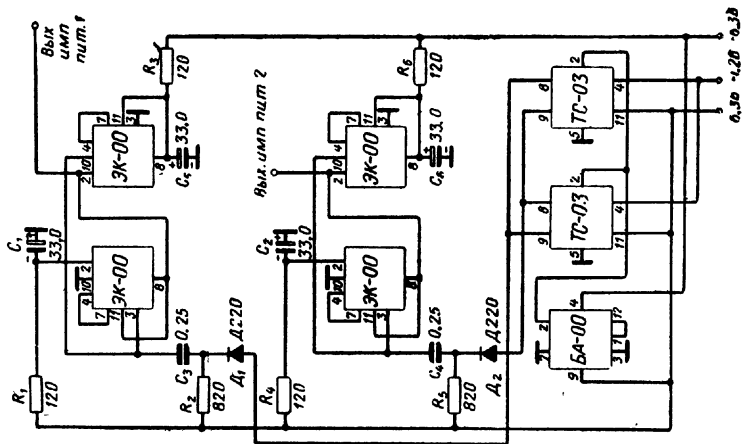
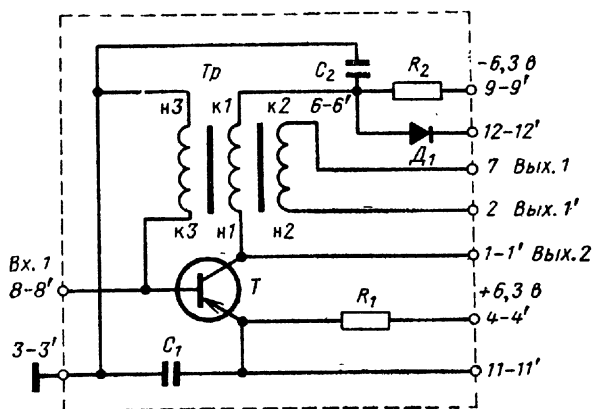


Рис. V.137. Схема генератора импульсного питания.



R_1	Резистор СЗ-4-3,9 $\text{ком} \pm 5\%$	1-8
R_2	Резистор СЗ-4-100 $\text{ом} \pm 10\%$	1-4
C_1, C_2	Конденсатор КМК-2-Н90-0,022 $\text{мкф} \begin{matrix} +80\% \\ -20\% \end{matrix}$	1-5
D_1	Диод 2ДМ502Г	1-6
T	Транзистор ТМ-5Г	
Tp_1	Трансформатор ММТИ-68	

Рис. V.138. Принципиальная схема микромодуля БА-00.

входят микромодули: блокинг-генератор автоколебательный БА-00 (рис. V.138), триггер ТС-03 в качестве формирователя прямоугольных импульсов и электронные ключи ЭК-00 в качестве усилителей мощности прямоугольных импульсов. Схема импульсного питания обеспечивает нормальную работу 4-х разрядов цифро-аналогового или аналого-цифрового преобразователя.

V.3. АППАРАТУРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОМОДУЛЕЙ

При измерении параметров микромодулей может быть использована различная аппаратура. Тип аппаратуры и методы измерения параметров микромодулей зависят как от сложности контроля так и от объема производства. В опытном производстве в основном используются ручные методы контроля, позволяющие измерять количественные значения параметров. Для

упрощения и получения повышенной производительности измерения осуществляются через коммутационные пульты с помощью стандартной измерительной аппаратуры.

В серийном производстве наиболее целесообразным является метод допускового контроля, при котором количественное значение параметра не измеряется. Информация о качестве микромодуля выдается в виде «годен» — «брак». Такой метод позволяет автоматизировать процесс контроля, что повышает производительность и исключает ошибки по вине оператора.

На рис. V.139 изображен пульт, позволяющий производить подключение к измерительной аппаратуре любого из 20 однотипных микромодулей. При смене типа микромодуля заменяется (при необходимости) измерительная аппаратура и эквивалент. Эквивалент предназначен для согласования схемы пульта со схемой измеряемого в данный момент микромодуля, а также для размещения недостающей части схемы и нагрузочных элементов. Описанный пульт позволяет производить измерения параметров микромодулей на частотах не выше 150—200 кГц из-за наличия больших паразитных емкостей в системе коммутации микромодулей.

В пульте, изображенном на рис. V.140, отсутствует коммутация и измерение параметров производится только одного микромодуля. Предельная частота, на которой можно производить измерения, достигает 5 МГц.

В качестве измерительных приборов при контроле параметров микромодулей можно применять самую разнообразную аппаратуру, однако наиболее целесообразно использовать следующие приборы:

- а) осциллографы С1-13, С1-8, С1-16, С1-17, С1-9;
- б) генераторы Г5-6А, Г5-15, Г5-8, Г3-3, Г4-1, Г4-7;
- в) вольтметры В3-3, В7-2, В4-1А;
- г) универсальные приборы М82, М193, Ц-435;
- д) источники питания ВСП-30, НВ-2, НВ-3М.

На рис. V.141 показана установка, с помощью которой может быть осуществлен автоматизированный контроль выходных параметров микромодулей. Установка позволяет контролировать выходные параметры микро-

16—1085

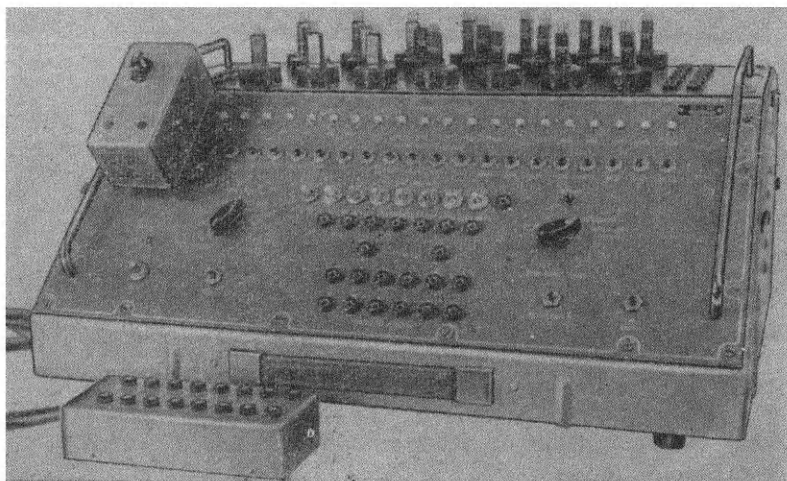


Рис. V.139. Пульт для измерения параметров микромодулей.

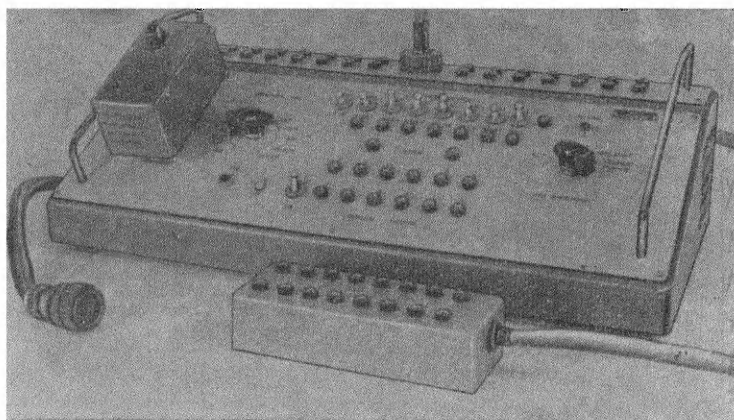


Рис. V.140. Пульт для измерения параметров одного микромодуля.

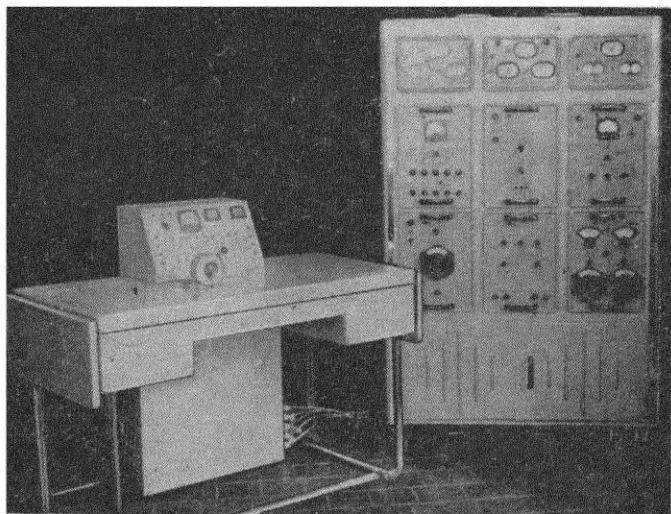


Рис. V.141. Установка для автоматизированного контроля параметров микромодулей:

модулей как импульсных, так и линейных схем. Блок-схема установки показана на рис. V.142. Установка состоит из контрольно-измерительной стойки и пульта управления. Для электрического соединения микромодуля с контрольной аппаратурой служит контактирующая колодка.

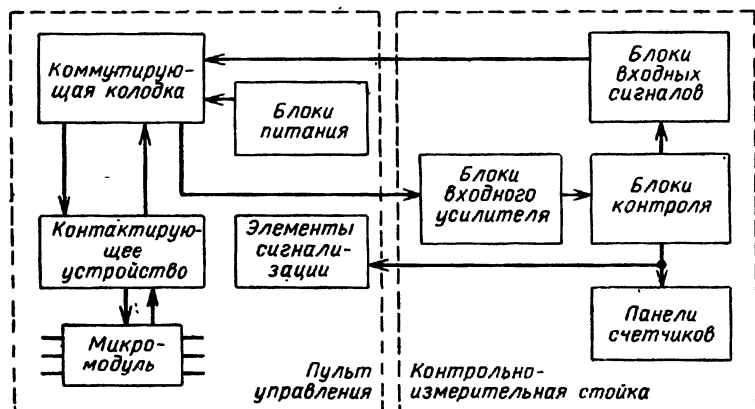


Рис. V.142. Блок-схема установки, изображенной на рис. V.141.

щее устройство, размещенное на пульте управления. Контролируемый микромодуль вручную вставляется в контактирующее устройство, при этом на модуль подаются напряжения питания и входные сигналы, а выходные сигналы поступают в пульт управления установки. Установка позволяет контролировать одновременно сигналы на трех выходах модуля. С первого основного выхода контролируемые сигналы через контактирующее устройство поступают в пульт управления. В пульте управления эти импульсы через ступенчатый делитель поступают на вход измерительных схем стойки. Выходные сигналы измерительных схем контроля суммируются с помощью реле, расположенных в пульте управления, и в зависимости от результатов контроля на пульте зажигаются сигналы «годен» или «брак», а соответствующие счетчики увеличивают свои показания на единицу.

КОНСТРУИРОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЕЙ

VI.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ
МИКРОМОДУЛЕЙ

Процесс разработки микромодулей от выбора схемы до проведения испытаний и составления паспорта разделяется на следующие этапы:

- анализ электрической схемы и функциональное деление на микромодули;
- лабораторное макетирование микромодулей;
- конструирование и изготовление опытных образцов;
- испытания и аттестация микромодулей (выпуск паспорта и технических условий).

При микромодульном конструировании разработчик электронной аппаратуры разделяет общую электрическую схему блока на отдельные функциональные узлы — микромодули. Для эффективного выполнения этой операции необходимо располагать определенными конструктивными критериями, в основе которых лежат ограничения, накладываемые спецификой микромодульного конструирования.

Таковыми критериями являются: количество узловых функциональных точек схемы, максимально-допустимое количество микроэлементов в микромодуле, максимально-допустимая высота микромодуля, максимально-допустимое количество разрезов соединительных проводников, допустимое количество плат с перемычками, допустимая мощность рассеяния микромодуля средней высоты в составе микромодульного блока, допустимая мощность рассеяния одиночного микромодуля средней высоты, максимально-допустимые напряжения между соединительными проводниками.

Первые пять критериев являются первичными критериями и используются для предварительного функционального деления схемы. Остальные, вторичные критерии, используются в дальнейшем для физической оценки выполненного деления и выбора параметров микроэлементов.

VI.2. КОНСТРУИРОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЕЙ

Конструирование микромодулей начинается с раскладки электрической схемы. Под раскладкой понимается процесс получения монтажной схемы микромодуля, определяющей взаиморасположение микроэлементов в составе микромодуля. В силу особенностей микромодульного метода процесс этот отличается от общеизвестных процессов выполнения монтажных схем и требует особого рассмотрения.

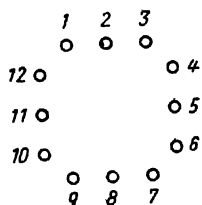


Рис. VI.1. Нуль-граф.

Для пояснения метода раскладки воспользуемся некоторыми понятиями общей теории графов. Граф, если говорить не строго, это совокупность точек и линий, с помощью которых изображаются соединения точек. Точки называются вершинами, а линии, их соединяющие,— ребрами графа. Набор из нескольких изолированных точек (без соединительных линий) также является графом. Граф такого вида принято называть нуль-графом. Например, совокупность контактных пазов микроплаты, не соединенных между собой, представляет нуль-граф из 12 точек (рис. VI.1).

Если каждая пара вершин графа соединена ребром, то такой граф называется полным графом. Примером полного графа является граф, показанный на рис. VI.2, графически выражающий общее количество вариантов соединений двухвыводных неполярных элементов. Полный граф можно рассматривать как совокупность нескольких графов, которые в таком случае называются дополнениями полного графа. Пример дополнения полного графа может быть получен путем выделения на рис. VI.2 одного из вариантов цоколевки, например 1-4, 1-5 и т. д.

Два графа называются изоморфными, если они содержат одну и ту же информацию. Иными словами, если графы изоморфны, то они имеют одно и то же число вершин и ребер. Например, если вершины 1 и 8 графа I

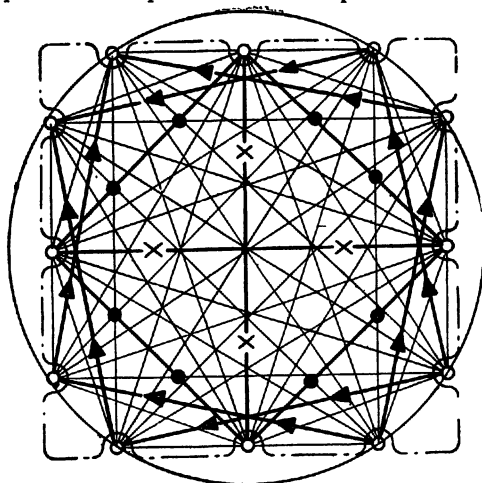


Рис. VI.2. Графическое изображение вариантов соединения двухвыводных микроэлементов (полный граф).

соединены ребром, то соответствующие им вершины 1 и 8 изоморфного графа II также соединены ребром (рис. VI.3).

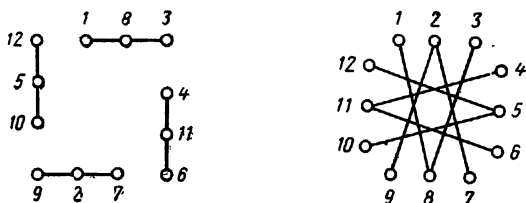


Рис. VI.3. Изоморфные графы.

Любой граф может быть изображен по-разному. Во-первых, совсем не обязательно изображать его ребра прямолинейными, во-вторых, вершины графа могут быть расположены произвольно. Для многих целей безраз-

лично, как именно изображен граф, поэтому изоморфные графы, содержащие одну и ту же информацию, могут рассматриваться как один граф. Однако в некоторых случаях существенно то обстоятельство, что граф может быть начерчен некоторым специальным образом, например с меньшим числом пересекающихся ребер.

Граф, который можно начертить таким образом, чтобы его ребра пересекались только в вершинах, называется **плоским графом** (рис. VI.4). Если любые две вершины графа можно соединить непрерывной линией, состоящей из од-

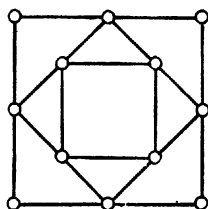


Рис. VI.4. Плоский граф.

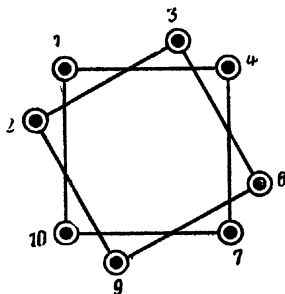


Рис. VI.5. Общий граф варианта 1-4.

ного или нескольких ребер, то такой граф называется **связным**.

Согласно данному выше определению любой микроэлемент микромодуля можно изобразить с помощью графа. При этом двухвыводные микроэлементы удобнее изображать связными графами, а многовыводные—**нуль-графами**. Тогда каждому положению микроэлемента в составе модуля в зависимости от цоколевки будет соответствовать определенное положение его графа. Например, для микроэлемента с цоколевкой 1-4 его граф займет положения 1-4, 4-7, 7-10, 10-1, 3-6, 6-9, 9-12 и 12-3 (рис. VI.5). Совокупность этих положений образует общий граф варианта 1-4. С точки зрения теории графов каждый общий граф принятых вариантов цоколевки можно рассматривать как дополнение некоторого графа, который можно получить путем их совмещения. Этот граф будет называться **основным**. Как следует из рис. VI.2, основной граф является, таким образом, дополнением полного графа.

Если графы отдельных элементов объединить в соответствии с электрической схемой, можно получить общий граф микромодуля, который в отличие от основного будем называть функциональным. Иными словами, любая электрическая схема микромодуля может быть представлена функциональным графом (рис. VI.6). Вершинами функционального графа являются узловые точки схемы, а ребрами — микрозлементы.

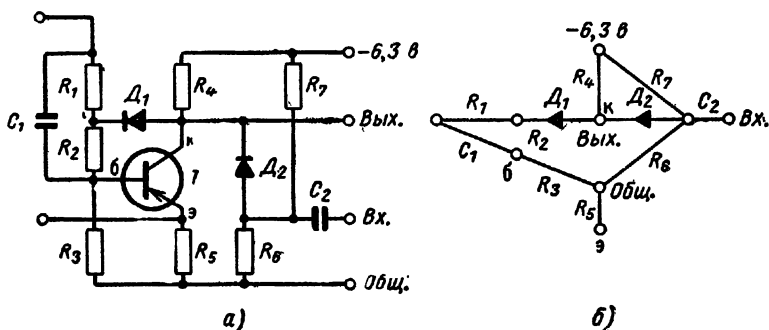


Рис. VI.6. Плечо триггера:

а — схема электрическая; б — функциональный граф.

Таким образом, задача раскладки микромодуля сводится к изоморфному преобразованию функционального графа по заданному критерию. Таким критерием является основной граф. Иначе говоря, функциональный граф должен быть преобразован таким образом, чтобы полученный изоморфный граф соответствовал основному графу или его части. Практически такое преобразование может быть выполнено путем нанесения функционального графа на основной граф, который выполняет в данном случае роль контурной сетки.

Поскольку основной граф может иметь различные изоморфные преобразования, существует несколько вариантов контурных сеток. Наибольшее распространение получили три варианта, представленные на рис. VI.7.

Раскладку электрической схемы микромодуля следует начинать с выбора контурной сетки основного графа. Выбор того или иного варианта зависит от индивидуальных качеств конструктора.

В первую очередь на сетку наносятся вершины графов многовыводных элементов, например, база, коллек-

тор и эмиттер транзистора. Затем последовательно наносятся графы двухвыводных элементов в соответствии с принятыми вариантами цоколевки. Порядок соединения элементов определяется электрической схемой. Каждая контурная линия сетки соответствует одному

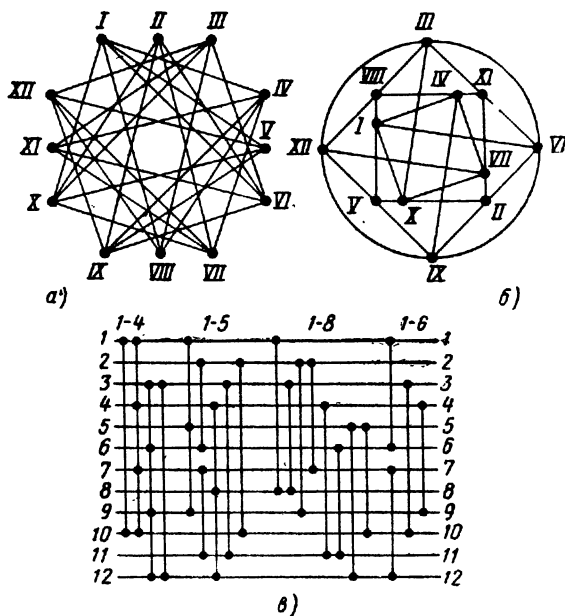


Рис. VI.7. Варианты контурных сеток:
а) I тип; б) II тип; в) III тип.

элементу схемы. При обходе контурной сетки каждая линия может быть пройдена несколько раз.

Следует учитывать, что расположение в одной вершине нескольких узловых точек схемы указывает на необходимость выполнения разреза соответствующего этой вершине соединительного проводника. В отличие от элементов, располагаемых на контурных линиях, перемычки выполняются в виде контурных линий, соединяющих любые вершины координатной сетки. Поскольку каждая электрическая схема или соответствующий ей функциональный граф могут иметь различные изоморфные преобразования, то задача раскладки схемы

может иметь несколько решений. Лучший вариант решения можно определить путем макетирования различных вариантов. Однако такой путь весьма кропотлив и дорог. Поэтому на практике в большинстве случаев решается вопрос: что предпочтительнее — разрезы или перемычки.

Если электрическая схема критична с точки зрения взаимного влияния цепей, к раскладке ее предъявляются дополнительные требования: учитывается влияние емкостных связей между соединительными проводниками плат (табл. VI.1), разносятся входные и выходные

ТАБЛИЦА VI.1

Высота микро- модуля, мм	Шаг сборки микроэле- ментов, мм	Количе- ство плат в микро- модуле	Номера соединитель- ных провод- ников	Емкость между проводниками микромодуля, пф	
				до гермети- зации	после герме- тизации
15	0,75	20	1-2 1-12	1,26 1,52	1,68 2,11
15	1,5	11	1-2 1-12	1,13 1,28	1,46 1,74
15	3,0	6	1-2 1-12	1,0 1,08	1,37 1,59

цепи, а также проводники, несущие высокочастотный потенциал, учитывается разность потенциалов между соседними проводниками и т. д.

Так как дополнительные монтажные связи в составе микромодуля могут являться причиной возникновения взаимного влияния в электрических цепях и, кроме того, вызывают увеличение размеров микромодуля за счет применения плат с перемычками, лучшим решением задачи следует считать вариант с меньшим количеством перемычек.

Очень часто в поисках лучшего решения конструктор изменяет начальное положение многовыводного опорного микроэлемента, поворачивая его на определенный угол. Обычно раскладка выполняется для двух положений опорного микроэлемента: нормального и перевернутого. При установке оксидно-полупроводниковых конденсаторов или диодов следует учитывать поло-

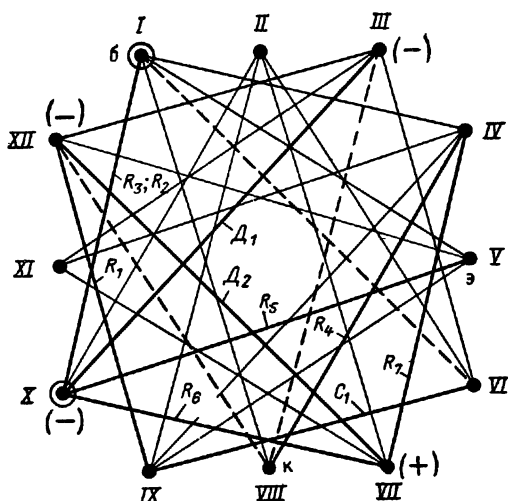


Рис. VI.8. Раскладка электрической схемы «плечо триггера» на контурной сетке I-го типа:
 ○ — разрез; — — — перемычка.

жение положительного вывода, который подключается к пазу с меньшим номером.

На рис. VI.8, VI.9 и VI.10 приведены примеры раскладки электрической

схемы плеча триггера с использованием различных вариантов контурных сеток.

Интерес представляет проблема унификации процесса раскладки. Рассмотрим возможные пути ее решения на примере унификации раскладки схем усилителей (рис. VI.11 и VI.12).

Будем рассматривать функциональные графы схем как дополнения некоторого графа, получаемого путем последовательного их совмещения (рис. VI.13). Получен-

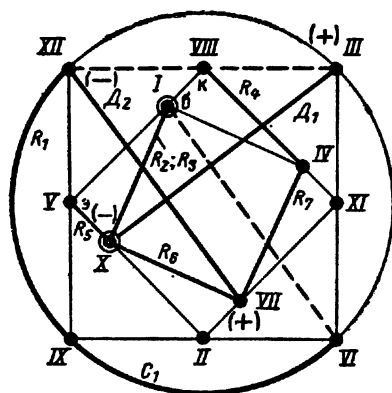


Рис. VI.9. Раскладка электрической схемы «плечо триггера» на контурной сетке II-го типа.

○ — разрез; — — — перемычка.

ный граф является полным графом для выбранной группы схем. Нетрудно заметить, что типовая раскладка, соответствующая полному графу (рис. VI.14), удовлетворяет каждой схеме.

Поскольку различные классы схем могут иметь родственные функциональные графы, возможно классифицировать их по этому признаку. Таким образом, для

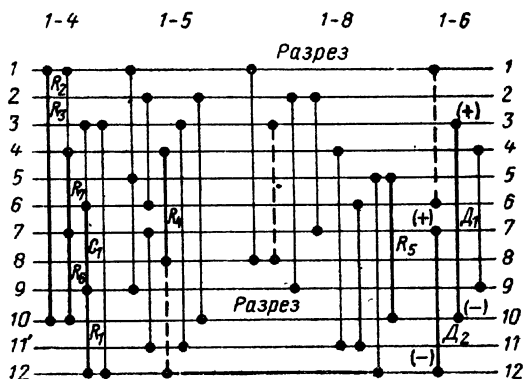


Рис. VI.10. Раскладка электрической схемы «плечо триггера» на контурной сетке III-го типа:
— — — перемычка.

унификации процесса раскладки микромодульных схем необходимо объединить системы функциональных элементов с родственными функциональными графами и путем взаимного их совмещения построить полный граф для данного класса схем. Тогда раскладка, соответствующая этому графу, будет удовлетворять всем схемам данного класса.

Значительное сокращение трудоемкости конструкторских работ достигается при использовании электронных цифровых вычислительных машин (ЭЦВМ). Задача конструирования с помощью ЭЦВМ заключается в получении оптимального варианта схемы раскладки микромодуля с учетом всех электрических и конструктивных требований, а именно, получение схем раскладки с минимальным количеством перемычек и разрезов соединительных проводников и соответствующего расположения микросхем для обеспечения наилучшего теплового режима и минимальной высоты микромодуля.

Среднее машинное время на раскладку одного микро-модуля составляет приблизительно 1 мин. Полное время на один микромодуль, которое складывается из машинного и вспомогательного, составляет 3—4 мин. Это в 20—30 раз меньше времени, которое затрачивает-

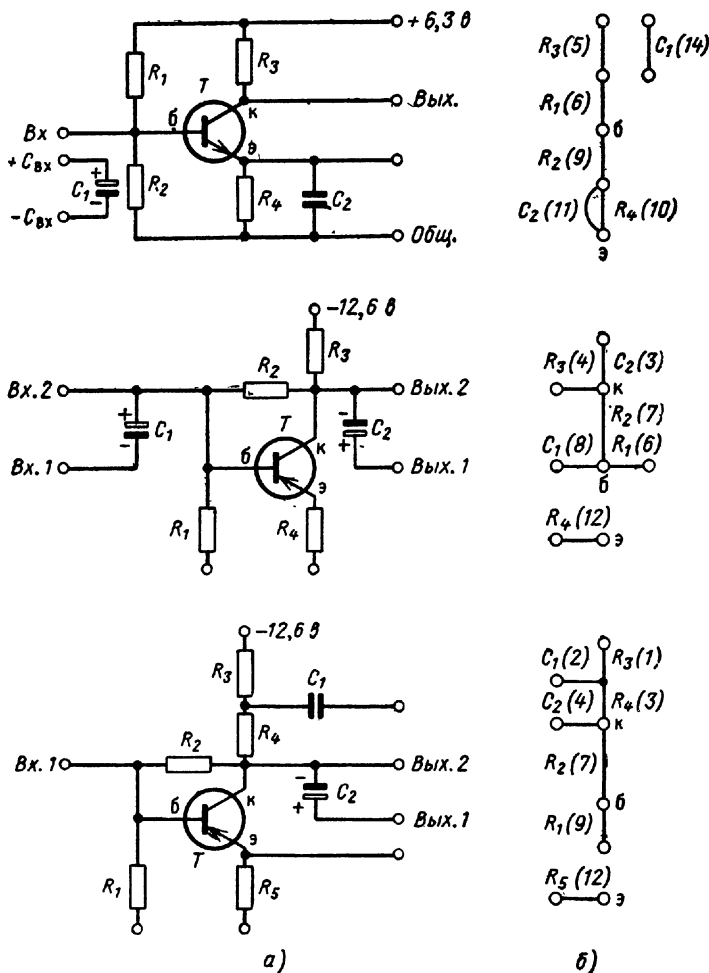


Рис. VI.11. Видеоусилители:

а — электрические схемы; *б* — функциональные графы, (1), (2) ... — порядковый номер микроэлемента.

ся в среднем на один микромодуль при конструировании обычным методом. При конструировании микромодулей с помощью ЭЦВМ полностью устраняются субъективные ошибки конструктора; рассматриваются все возможные

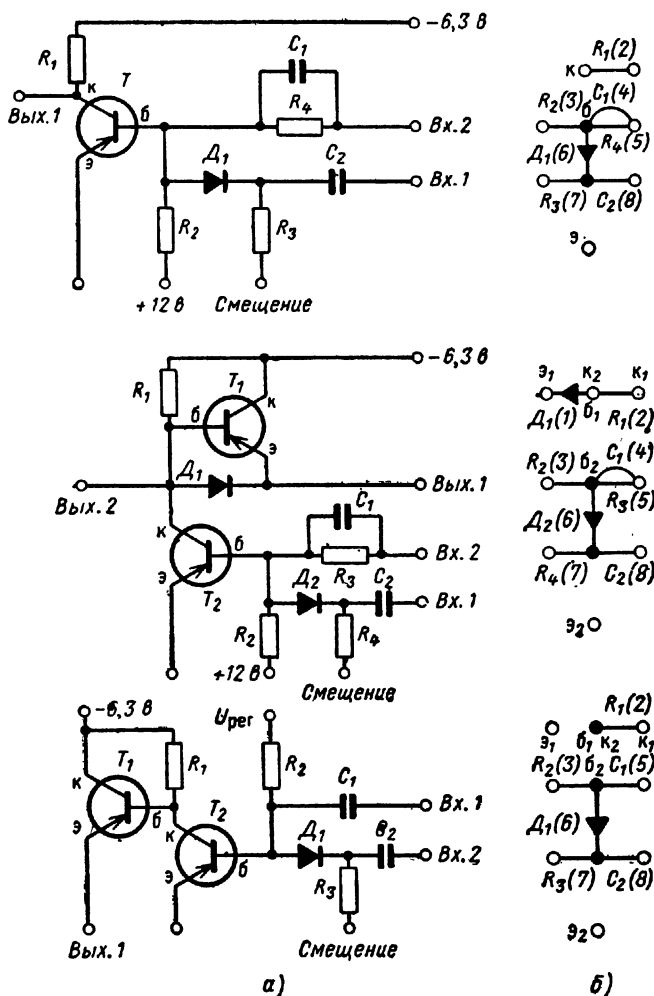


Рис. VI.12. Усилители импульсные:

а — электрические схемы; б — функциональные графы, (1), (2) ... — порядковый номер микроэлемента.

варианты схем раскладки микромодуля, из которых выбираются оптимальные, удовлетворяющие предъявляемым требованиям. Информация, выдаваемая ЭЦВМ, пригодна для непосредственного использования в автоматической линии для изготовления микромодулей.

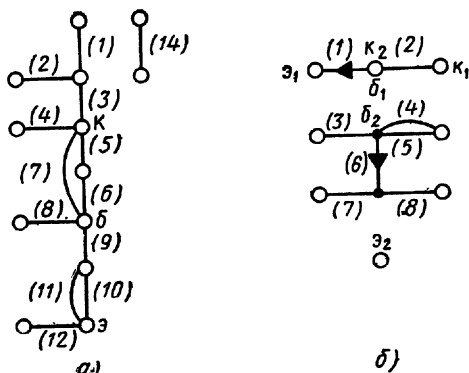


Рис. VI.13. Полный функциональный граф:
а — видеоусилители; б — усилители импульсные,
(1), (2) ... — порядковый номер микроэлемента.

В табл. VI.2 приведены сравнительные данные по ручному и машинному конструированию, полученные в процентах от общего числа схем партии микромодулей. Из таблицы видно, что в подавляющем большин-

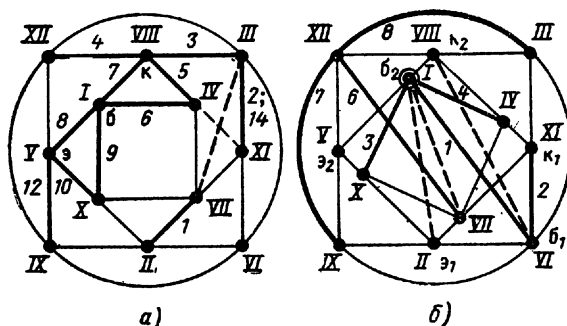


Рис. VI.14. Типовая раскладка систем унифицированных микромодулей:

а — видеоусилители; б — усилители импульсные.
○ — разрез; — — — перемычка.

ТАБЛИЦА VI.2

Вид решений	Машинный метод, %	Ручной метод, %
Без перемычек и разрезов	16,6	0
С одной перемычкой	37,5	8,4
С двумя перемычками	37,5	21,0
С тремя перемычками	0	4,2
С четырьмя перемычками	0	8,4
С одним разрезом	4,2	0
С одним разрезом и двумя перемычками	4,2	4,2
С одним разрезом и тремя перемычками	0	8,4
С одним разрезом и четырьмя перемычками	0	4,2
С одним разрезом и пятью перемычками	0	4,2
С двумя разрезами и двумя перемычками	0	16,8
С двумя разрезами и тремя перемычками	0	21,0

стве микромодулей, сконструированных ЭЦВМ, или совсем отсутствуют перемычки и разрезы (16,6%), или имеются только одна—две перемычки (75%), в то время как большинство микромодулей, сконструированных человеком, содержит один—два разреза и от двух до пяти перемычек (более 55%).

VI.3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ МИКРОМОДУЛЕЙ

Все микроэлементы и микроплаты располагаются в составе микромодулей с шагом S , равным $0,25n$, $n=3, 4, 5, \dots$ (рис. VI.15).

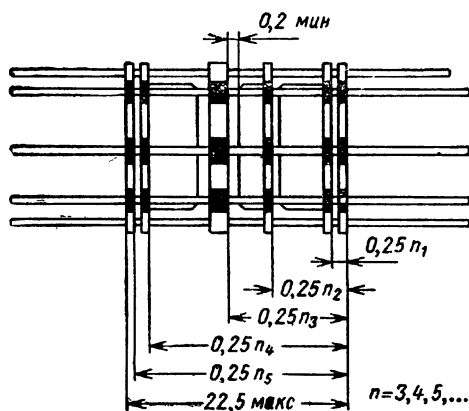
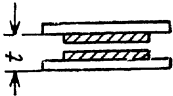
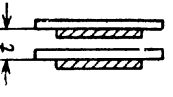
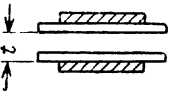


Рис. VI.15. Шаг сборки микромодуля.

ТАБЛИЦА VI.3

Расположение микроэлементов в микромодуле	Шаг сборки, мм	Емкость между микроэлементами, пф	
		до герметизации	после герметизации
	0,75	1,775	3,62
	1,5	1,455	2,73
	3,0	1,450	2,34
	0,75	1,635	3,08
	1,5	1,38	2,36
	3,0	1,30	2,02
	0,75	1,435	2,81
	1,5	1,310	2,41
	3,0	1,265	1,91

Величина емкостных связей между соседними микроэлементами в зависимости от шага их расположения приведена в табл. VI.3. Минимальное расстояние между выступающими частями соседних микроэлементов должно быть не менее 0,2 мм. Для обеспечения механической прочности изготавливать микромодули высотой свыше 25 мм не рекомендуется.

Рекомендуемые Запрещенный

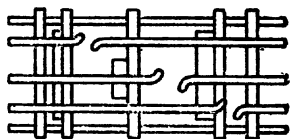


Рис. VI.16. Пример разрезов соединительных проводников в микромодуле.

Количество разрезов соединительных проводников в микромодуле строго ограничивается. Общее количество разрезов не должно превышать пяти. На каждой грани микромодуля допускается выполнять не более двух разрезов. Ширина вы-

резанного участка проводника берется равной 0,2 мм. Не допускается выполнять разрезы между крайними микроплатами (рис. VI.16). В точке разреза расстояние между микроплатами должно быть не менее 1 мм. Удобно выполнять разрезы в месте установки крупных микроэлементов — транзисторов, трансформаторов и др.

VI.4. ВИДЫ КОНСТРУКЦИЙ МИКРОМОДУЛЯ

Для увеличения механической прочности микромодулей и защиты микроэлементов от воздействия внешней среды микромодули герметизируют. Наиболее широкое распространение получили два способа герметизации: заливка компаундом и капсулирование в металлических капсулах (рис. VI.17).

Применение компаундов позволяет обеспечить защиту микроэлементов в составе микромодулей в условиях повышенной влажности (98%), окружающей среды при температуре $+40^{\circ}\text{C}$ в течение не менее 10 суток. Защита микроэлементов металлическими капсулами позволяет увеличить продолжительность защиты в указанных условиях до 30 и более суток.

Для капсулирования применяются алюминиевые капсулы, получаемые методом ударной штамповки. Этажерка микромодуля (сборка микроэлементов) предварительно заливается изоляционным составом с низким удельным весом (например, пеностиролом). Залитый микромодуль помещается в капсулу и герметизируется с торца. Обычно герметизация выполняется путем заливки торца капсулы эпоксидным компаундом или с помощью специальной керамической крышки, отверстия и кромки которой металлизированы. Выводы микромодуля пропускаются в отверстия крышки и опайваются. Крышка соединяется с капсулой путем пайки по периметру.

Соединительные проводники после герметизации выводятся с одной стороны микромодуля на длину порядка 10 мм. При монтаже микромодулей в радиоаппаратуре выводы обрезаются в зависимости от толщины печатной платы.

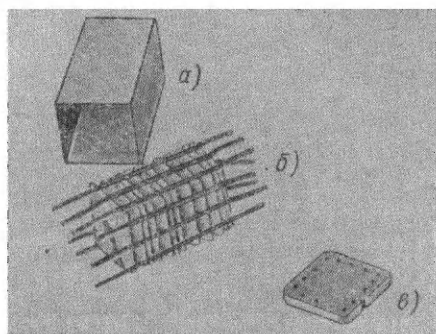


Рис. VI.17. Детали капсулированного микромодуля:

а — металлическая капсула; б — этажерка микромодульная; в — керамическая крышка.

VI.5. МАРКИРОВКА МИКРОМОДУЛЕЙ

Выводы микромодулей условно нумеруют. Если смотреть на нижний торец микромодуля, отсчет выводов производится по часовой стрелке. При этом выводы, направленные вниз, обозначаются цифрами 1, 2, 3, ..., 11, 12, а выводы, направленные вверх, — цифрами 1', 2', 3', ..., ..., 11', 12'. Все внешние цепи микромодуля соответствуют выводам 1—12.

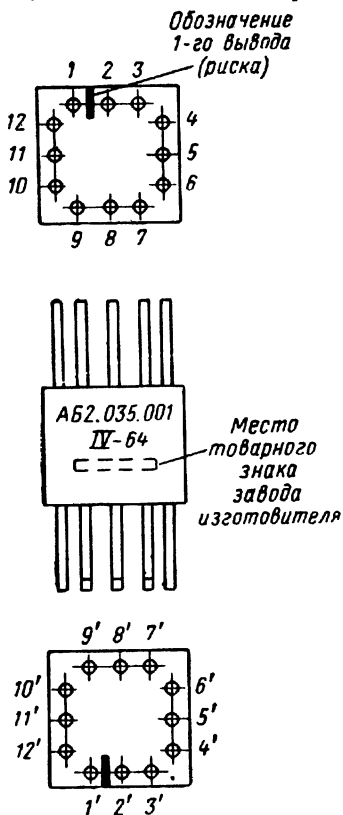


Рис. VI.18. Образец маркировки микромодуля.

Для определения начала отсчета при сборке микроэлементов в этажерку выводы 1, 2, 3 укорачиваются на 1 мм, после чего микромодуль герметизируется. Ориентируясь по укороченным выводам, герметизированные микромодули маркируют, т. е. краской наносят номер чертежа микромодуля, дату изготовления, товарный знак завода-изготовителя и обозначение 1-го вывода в виде черточки или точки). Принято располагать номер и дату изготовления на боковой поверхности микромодуля, а обозначение 1-го вывода — на торцах (рис. VI.18). Основание маркировки

обращено в сторону нижнего торца микромодуля и позволяет определить порядковый номер любого вывода в герметизированном микромодуле при его установке и монтаже в аппаратуре.

VI.6. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

Однотипность геометрических форм и размеров микромодулей способствует типизации оформления конструкторской документации.

Комплект конструкторской документации на микромодуль включает принципиальную электрическую схему, сборочный чертеж герметизированного микромодуля, сборочный чертеж этажерки без герметизации, чертежи микроплат с перемычками, технические условия и паспорт.

Каждый из перечисленных документов является типовым, поскольку оформление его, независимо от функционального назначения и законченности электрической схемы, однотипно. Выпуск конструкторской документации сводится к заполнению выполненных определенным образом табличных чертежей или бланк-форматов, которые в силу своей однотипности могут быть заранее выполнены типографским способом. Это способствует значительному росту производительности конструкторского труда, повышению его качества и в конечном итоге сокращает себестоимость выпускаемой продукции.

VI.7. СХЕМА СБОРКИ

Результаты, полученные при раскладке электрической схемы, после дополнительной обработки заносятся в сборочный чертеж микромодуля в виде таблицы, называемой схемой сборки (рис. VI.19). В таблице указывается: взаимное расположение микроэлементов в составе микромодуля, положение микроэлементов в микромодуле, угол поворота платы, цоколевка микроэлемента, высота микроэлементов и толщина микроплат, вид и положение плат с перемычками, места разрезов проводников. Горизонтальные линии схемы сборки соответствуют соединительным проводникам и нумеруются в соответствии с номерами пазов опорного микроэлемента. В случае разреза соединительного проводника горизонтальная линия разрывается.

Микроэлементы и платы с перемычками записываются в столбцах схемы в соответствии с выбранной цоколевкой в виде контурных линий, оканчивающихся окружностями. Число заполненных столбцов таблицы равно числу микроэлементов в данном микромодуле. Полярность или условные обозначения выводов микроэлементов указывается около соответствующих точек. Например, для транзисторов указывается (б, э, к), для трансформаторов — начало и конец каждой обмотки (н, к), для диодов указывается «+» и «—», и т. п.

Взаимное расположение элементов в составе микро-модуля в основном определяется положением разрезов соединительных проводников. Например, элементы R_5 , C_2 (см. рис. VI.19) не могут быть установлены перед транзистором T_1 , а R_1 — перед T_2 .

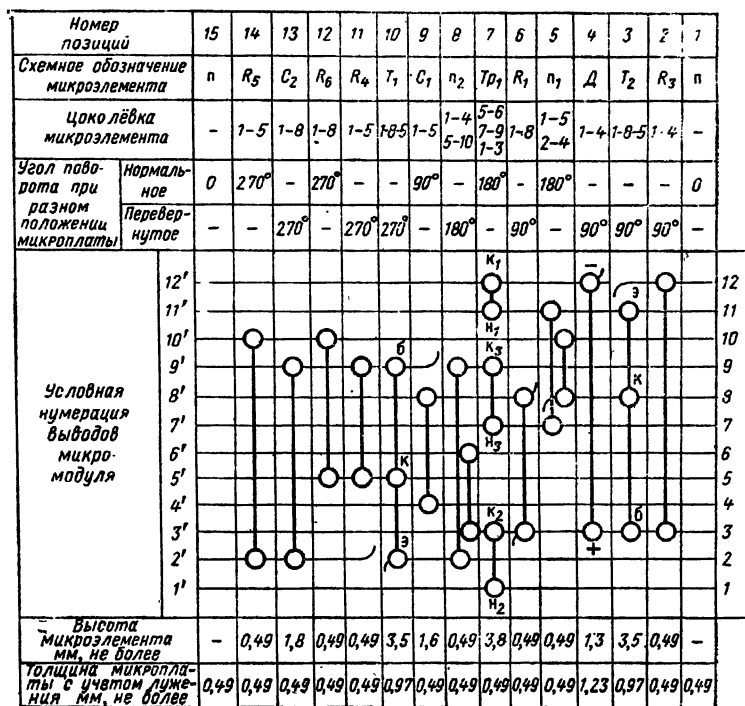


Рис. VI.19. Схема сборки микромодуля.

Многовыводные элементы, являющиеся опорными при раскладке, располагаются в нижней части микромодуля, а элементы, используемые для настройки, — в верхней. Элементы, рассеивающие значительные мощности, распределяются по высоте микромодуля.

Если толщина плат крайних микроэлементов меньше 1 мм, с обеих сторон микромодуля устанавливаются свободные типовые микроплаты. Они вводятся для устранения отрывов проводников от пазов крайних эле-

ментов при одевании на них насадок, применяемых при герметизации микромодулей (см. гл. VIII). Свободные микроплаты устанавливаются в нормальном положении.

Высота микроэлементов и толщина микроплат указывается с учетом верхнего предельного отклонения, например 3,5 вместо $3,1^{+0,4}$.

VI.8. РАСЧЕТ ПОЛОЖЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Положение микроэлементов и их цоколевка рассчитываются по приводимой ниже методике. Отсчет микроэлементов и плат в схеме сборки ведется справа налево. При этом выводы, расположенные справа, обозначаются цифрами без штрихов, а выводы, расположенные слева, — цифрами со штриха-ми, например 1-1', 2-2', 3-3' и т. д.

При вращении микроплаты на угол, кратный 90° , нумерация пазов изменяется. Иначе говоря, номер каждого паза получает приращение $\pm\delta$. Приращения, получаемые при вращении микроплаты по часовой стрелке, будем обозначать положительными числами, против часовой стрелки — отрицательными. Приращения номера паза микроплаты в нормальном и перевернутом положении будут противоположны по знаку (рис. VI.20).

Величина приращения номера каждого паза при повороте микроплаты на угол 90° равна 3. Переворот микроплаты эквивалентен приращению -13 . Значения приращений при различных положениях микроплаты приведены в табл. VI.4.

Таблица позволяет рассчитать положение или цоколевку микроэлементов в составе микромодуля по формуле

$$|N| = |N_0 \pm \delta|,$$

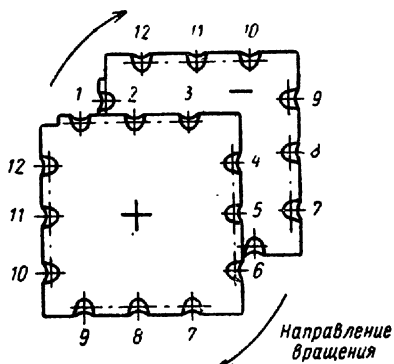


Рис. VI.20. Определение номеров пазов микроплаты:

- + увеличение номера паза;
- уменьшение номера паза.

где N — номер паза микроэлемента при повороте;
 N_0 — номер паза микроэлемента в нулевом положении;
 δ — приращение N_0 .

Если результат вычисления (по абсолютной величине) превышает общее количество пазов (12), то его необходимо уменьшить на эту величину.

ТАБЛИЦА VI.4

Угол поворота	Приращение номера паза	
	нормальное положение платы	перевернутое положение платы
0°	—	—13
90°	+3	—16
180°	+6	—19
270°	+9	—22

В качестве примера определим нумерацию пазов микроэлемента с цоколевкой 1-4 при повороте его на 180° в перевернутом положении:

$$|N_1| = |N_{01} - \delta|, \quad |N_4| = |N_{04} - \delta|,$$

где

$$N_{01} = 1; \quad N_{04} = 4.$$

По табл. VI.4 определяем

$$|N_1| = |1 - 19| - 12 = 6,$$

$$|N_4| = |4 - 19| - 12 = 3.$$

Результаты расчета положения микроэлементов с цоколевкой 1-4, 1-5, 1-8 приведены в табл. VI.5, с цоколевкой 1-6, 2-5 — в табл. VI.6, положения транзисторов — в табл. VI.7.

ТАБЛИЦА VI.5

Положение микроплаты (угол поворота)		Варианты подключения микроэлементов		
нормаль- ное	перевер- нутое	I	II	III
0°	—	1-4	1-5	1-8
90°	—	4-7	4-8	4-11
180°	—	7-10	7-11	7-2
270°	—	10-1	10-2	10-5
—	0°	12-9	12-8	12-5
—	90°	3-12	3-11	3-8
—	180°	6-3	6-2	6-11
—	270°	9-6	9-5	9-2

ТАБЛИЦА VI.6

Положение микроплаты (угол поворота)		Варианты подключения микроэлементов	
нормальное	перевернутое	I	II
0°	—	1-6	2-5
90°	—	4-9	5-8
180°	—	7-12	8-11
270°	—	10-3	11-2
—	0°	12-7	11-8
—	90°	3-10	2-11
—	180°	6-1	5-2
—	270°	9-4	8-5

ТАБЛИЦА VI.7

Положение микроплаты (угол поворота)		Варианты подключения микроэлемента		
нормальное	перевернутое	база	коллектор	эмиттер
0°	—	1	8	5
90°	—	4	11	8
180°	—	7	2	11
270°	—	10	5	2
—	0°	12	5	8
—	90°	3	8	11
—	180°	6	11	2
—	270°	9	2	5

VI.9. ДОРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

После составления схемы сборки электрическая схема микромодуля дорабатывается. Доработка заключается в перенесении на электрическую схему обозначений соединительных проводников, разрывов и перемы-

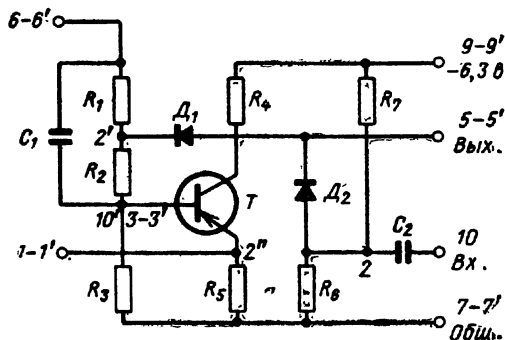


Рис. VI.21. Доработка принципиальной схемы микромодуля.

чек, которые проставляются в узловых точках схемы (рис. VI.21).

Если соединительный проводник не имеет разрывов, то около соответствующей ему узловой точки указывается полное обозначение проводника, например 1-1', 4-4' и т. д.

В случае разрыва проводника указывается только одна цифра, определяющая номер вывода, например 2, 3, 8. При наличии перемычки в микромодуле у соответствующей узловой точки проставляются цифры, определяющие номера всех соединяемых перемычкой проводников, например 2-9, 7-11.

VI.10. РАСЧЕТ ГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОВ МИКРОМОДУЛЯ

В зависимости от положения соседних микроэлементов (рис. VI.22) шаг их установки определяется по одной из следующих формул:

$$S_1 \geq 0,2 + t_{\text{макс}},$$

$$S_2 \geq 0,2 + h_{\text{макс}},$$

$$S_3 \geq 0,2 + h_{\text{макс}1} + h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2},$$

$$S_4 \geq 0,2 + t_{\text{макс}1} + h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2},$$

где S_i — шаг установки соседних микроэлементов, мм;

0,2 — минимальное расстояние между выступающими частями соседних микроэлементов;

$h_{\text{макс}} = h + \Delta h$ — максимальная высота микроэлемента, мм;

h — номинальный размер высоты микроэлемента, мм;

Δh — величина верхнего предельного отклонения размера h , мм;

$t_{\text{макс}}, t_{\text{мин}}$ — предельные размеры толщины микроплаты микроэлемента, мм.

Здесь $t_{\text{макс}} = t + \Delta t$, $t_{\text{мин}} = t - \Delta t$,

где t — номинальный размер толщины микроплаты, мм;

Δt — величина предельного отклонения размера t , мм.

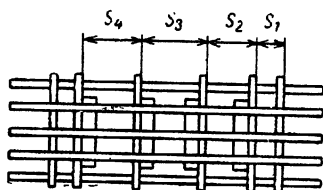


Рис. VI.22. Расположение микроэлементов в микромодуле.

Полученная величина округляется до ближайшей большей величины S , определяемой по формуле

$$S = 0,25n,$$

где $n = 3, 4, 5$ и т. д.

Если между микроэлементами выполняется разрез соединительного проводника, то в зависимости от соотношения размеров шаг их установки рассчитывается по следующим формулам:

$$S_1 \geq 1 + t_{\text{макс}};$$

$$S_2 \geq 1 + t_{\text{макс}}$$

$$\text{при } h_{\text{макс}} - t_{\text{макс}} + 0,2 < 1;$$

$$S_2 \geq 0,2 + h_{\text{макс}}$$

при $h_{\text{макс}} - t_{\text{макс}} + 0,2 > 1$;

$$S_3 \geq 1 + t_{\text{макс}1}$$

при $h_{\text{макс}1} - t_{\text{макс}1} + h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2} + 0,2 < 1$;

$$S_3 \geq 0,2 + h_{\text{макс}1} + h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2}$$

при $h_{\text{макс}1} - t_{\text{макс}1} + h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2} + 0,2 > 1$;

$$S_4 \geq t_{\text{макс}1} + 1$$

при $h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2} + 0,2 < 1$;

$$S_4 \geq 0,2 + t_{\text{макс}1} + h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2}$$

при $h_{\text{макс}2} - t_{\text{мин}2} + 0,2 > 1$.

Величина округления размера S изменяется при различных вариантах расположения микроэлементов. Это свойство используется на практике для обеспечения допустимого максимального размера микро модуля, равного 25 мм.

Габаритный размер негерметизированного микро модуля с учетом приведенных выше соотношений может быть определен по формуле

$$l = \left(\sum_1^n S_i + t_{\text{макс}n} \right)_{-\Delta l}^{+\Delta l},$$

где l — размер негерметизированного микро модуля, мм;

S_i — шаг расположения микроэлементов, мм;

$t_{\text{макс}n}$ — максимальный размер толщины последней микроплаты, мм;

n — количество элементов микро модуля;

Δl — предельное отклонение размера l , мм.

Величина поля допуска размера l определяется допустимой точностью применяемого при сборке технологического оборудования (см. гл. VIII) и равна 0,5 мм.

Номинальный размер негерметизированного микро модуля

$$l_{\text{ном}} = \sum_1^n S_i + t_{\text{макс}n}.$$

Размер герметизированного микромодуля определяется по формуле

$$H = l_{\text{ном}} + 2r + \Delta l + \Delta H + C,$$

где H — номинальный размер герметизированного микромодуля, мм;

r — минимальная толщина слоя герметизации, мм;

ΔH — нижнее предельное отклонение размера H ($\Delta H = 0,5$ мм);

C — величина округления размера H .

Для уменьшения количества применяемой оснастки и упрощения технологии герметизации размер H округляется до 0,5 мм в сторону увеличения. Например, размер 23,25 мм округляется до 23,5 мм.

С учетом значения l выражение для H примет вид

$$H = \sum_1^n S_i + t_{\text{макс } n} + 2r + \Delta l + \Delta H + \bar{C}.$$

КОНСТРУИРОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

При разработке микромодульных радиоэлектронных блоков перед конструктором возникает ряд проблем, от решения которых зависит успех создания оптимальных конструкций. В качестве основных проблем можно назвать следующие:

- выбор метода компоновки микромодулей, микромодульных узлов и блоков;

- определение степени деления принципиальной схемы на узлы, субблоки и блоки или, иными словами, определение количества микромодулей и навесных радиоэлементов, входящих в конструктивно законченные сборки;

- выбор элементов межузловых и межблочных соединений (колодки, разъемы, печатные платы, кабели);

- обеспечение необходимого температурного режима работы аппаратуры, а в случае необходимости и электрической защиты. Параллельно с указанными выше проблемами решаются вопросы обеспечения механической прочности, технологичности, стоимости и т. д.

Выбор оптимальных решений приобретает особое значение при разработке больших систем с многофункциональным назначением, поскольку ошибка, сделанная на этапе проектирования, в дальнейшем приводит к значительным материальным затратам. Оценка правильности конструктивного решения производится по ряду параметров, зависящих от назначения, режима работы, эксплуатационных особенностей, серийности разрабатываемой аппаратуры. В качестве параметров оценки должны выбираться хорошо известные физические и технико-

экономические показатели, наиболее полно характеризующие разрабатываемое изделие.

Оптимальность конструкции может быть оценена по следующим параметрам: по конструктивной надежности, плотности компоновки, стоимости и технологичности, ремонтоспособности и гибкости конструкции.

Конструктивная надежность является функцией нескольких параметров:

- надежности монтажных соединений, по которой оценивают конструкцию с точки зрения способности обеспечить безотказную работу монтажных соединений (соединения радиоэлементов и микромодулей, печатных плат, разъемов, кабелей и т. д.);

- механической прочности, определяющей способность конструкции противостоять воздействиям механических нагрузок;

- помехозащитности, характеризующей конструкцию с точки зрения степени защищенности входящих элементов, в том числе монтажных соединений, от взаимных наводок и паразитных емкостей внутри конструкции, а также от действия внешних электромагнитных полей;

- эффективности теплоотвода, по которой оценивают способность конструкции обеспечивать требуемый тепловой режим путем отвода тепла от радиоэлементов, критичных к тепловым воздействиям.

Плотность компоновки характеризует конструкцию с точки зрения степени использования заданных объемов. Этот параметр также можно представить как функцию нескольких составляющих факторов, таких, как «удельная функциональная плотность» заполнения объемов радиоэлементами, «удельная весовая плотность», выражающая отношение веса радиоэлементов к общему весу конструкции, и т. д.

Стоимость и технологичность оценивает конструкцию по общей сумме затрат, которые необходимо сделать для разработки и изготовления рассматриваемого изделия. Этот параметр учитывает такие факторы, как подготовленность производства, технологичность конструкции и возможность механизации и автоматизации изготовления, необходимость разработки новых технологических процессов, контрольные и регулировочные работы и т. д.

Ремонтоспособность оценивает конструкцию с точки зрения пригодности ее к быстрому восстановлению работоспособности после появления отказа и учитывает такие составляющие, как время, необходимое для обнаружения и устранения неисправностей, количество необходимых запасных элементов, количество и стоимость сервисной аппаратуры, необходимая квалификация обслуживающего персонала и т. д.

«Гибкость конструкции» дает оценку возможности проведения изменений в конструкции на этапе проектирования и изготовления опытных образцов, а также учитывает возможность модернизации изделий при серийном их изготовлении.

Очевидно, что идеальной будет конструкция, имеющая наилучшие показатели по всем параметрам. Создать такую конструкцию очень трудно. Например, конструкции, имеющие большую плотность компоновки, будут обладать меньшей ремонтоспособностью и наоборот. Следовательно, для создания оптимальной конструкции необходимо некоторое компромиссное решение, которое позволило бы создать конструкцию, имеющую высокие показатели по основным, главным, параметрам, а для этого необходимо учитывать значимость каждого параметра в общей системе оценки.

VII.1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

Микромодульный метод конструирования вносит целый ряд особенностей в проектирование радиоэлектронных блоков. Основными из них можно назвать следующие:

- наименьшей конструктивной единицей в микромодульных блоках становится микромодуль, а не отдельный радиоэлемент;

- одинаковая стандартная форма микромодулей позволяет устанавливать их с минимальными промежутками, чем достигается высокая плотность компоновки микромодулей. Кроме того, поскольку часть электрических соединений осуществляется внутри самого модуля, сокращается объем, занимаемый коммутацией, что в конечном счете приводит к дальнейшему повышению плотности компоновки;

— одинаковая стандартная форма микромодулей дает возможность проводить при конструировании микромодульных блоков и устройств широкую унификацию и стандартизацию отдельных конструктивных элементов, входящих в блоки;

— несмотря на то, что при разработке электрических схем микромодульных устройств стремятся создавать схемы с наименьшей потребляемой мощностью, значительное повышение плотности компоновки и тепловая экранировка деталей герметизирующим компаундом с малой теплопроводностью вызывают необходимость при конструировании блоков предусматривать эффективный отвод тепла как от каждого микромодуля в отдельности, так и от микромодульного блока в целом;

— поскольку высота микромодулей в зависимости от функциональной сложности и количества входящих радиоэлементов колеблется от 10 до 25 мм, то при проектировании узлов и блоков для исключения снижения плотности компоновки стремятся к объединению одинаковых по высоте модулей в отдельные конструктивные сборки.

Опыт применения микромодулей как в отечественных разработках, так и за рубежом показывает, что наиболее рациональным методом соединения микромодулей в узлах и блоках является печатный монтаж. Обычно для этой цели применяются печатные платы толщиной от 1 до 2 мм в зависимости от механических нагрузок, заданных в технических требованиях на аппаратуру. Сами микромодули устанавливаются на плату с шагом, кратным шагу координатной сетки (2,5 мм), с учетом обеспечения заданных тепловых режимов. Обычно применяется шаг установки, равный 12,5 мм. Между печатной платой и микромодулем предусматривается зазор, равный 1,5—2 мм, необходимый для прохождения лака при лакировке, которой подвергаются печатные платы. На платы с односторонним печатным монтажом микромодули допускается устанавливать без зазора.

На печатных платах микромодули рекомендуется распаивать, как правило, на все 12 выводов. Возможность распайки микромодулей на меньшее число выводов определяется разработчиком аппаратуры по результатам испытаний при заданных механических перегруз-

ках. Верхние выводы микромодулей, установленных на печатную плату, подрезаются до высоты 0,5 мм от торца с последующей защитой изоляционным составом.

В зависимости от метода компоновки существуют ограничения по допустимому количеству микромодулей, устанавливаемых на одну печатную плату. Так, на плату с рядовым расположением рекомендуется устанавливать до 40 микромодулей, а в узлах с двухрядным расположением количество микромодулей ограничивается 10—12 шт. в ряду. Структурная схема микромодульной аппаратуры представлена на рис. VII.1.

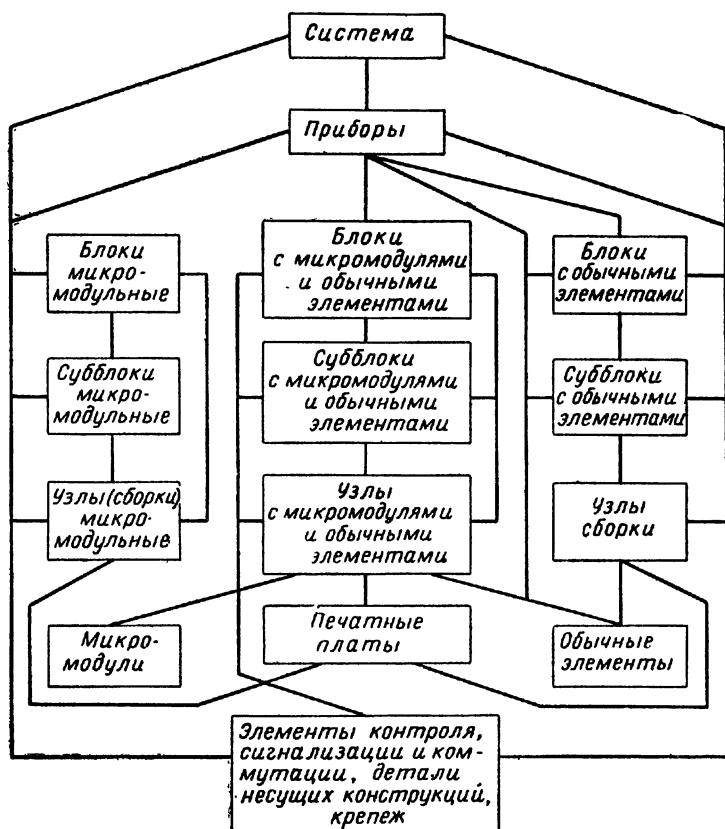


Рис. VII.1. Структурная схема изделий с применением микро-модулей.

VII.2. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Общие технические требования на аппаратуру, в которой применяются микромодульные устройства, зависят от целевого назначения и срока службы изделия. Существует также ряд специфических требований, основные из которых следующие:

- микромодульную аппаратуру рекомендуется разрабатывать с максимальным использованием микромодулей общего применения (под микромодулями общего применения имеются в виду унифицированные микромодули), типовых узлов и конструктивных элементов;

- при конструировании необходимо предусматривать возможность замены узлов и микромодулей на этапе производства;

- наименьшей сменной единицей в условиях эксплуатации рекомендуется принимать блок;

- одноименные электрические цепи рекомендуется подключать к выводам микромодулей одинаковой нумерации;

- для микромодульной аппаратуры особое значение имеет разнесение входных и выходных цепей; рекомендуется предусматривать дублирование основных цепей;

- части схемы, требующие экранировки, следует выделять в отдельные сборки с последующей общей экранировкой или выполнять в виде капсулированных микромодулей, конструкция которых обеспечивает высококачественное экранирование;

- в силу однотипности самих микромодулей и единообразия узлов и субблоков особое внимание следует уделять вопросу маркировки и ключевых устройств; съемные изделия микромодульной аппаратуры (узел, субблок, блок) должны иметь специальные конструктивные элементы, предотвращающие их неправильную установку и включение;

- кроме маркировки узлов и блоков, применяемой в обычной радиоаппаратуре, необходимо вводить маркировку, однозначно определяющую положение микромодуля, установленного на печатной плате (принято маркировать отверстие, соответствующее первому выводу микромодуля);

- при конструировании, как уже указывалось выше, большое внимание необходимо уделять созданию нормального температурного режима.

VII.3. КЛАССИФИКАЦИЯ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ ПО МЕТОДУ УСТАНОВКИ МИКРОМОДУЛЕЙ И КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ

Различные варианты установки микромодулей на платы приведены в табл. VII.1.

Наибольшую плотность заполнения дает применение сплошной установки микромодулей с шагом, обеспечивающим зазор 1,5 мм (рис. VII.2). Однако опыт работы показал, что такая конструкция является практически неремонтоспособной, так как при замене вышедшего из строя микромодуля установить в образовавшийся «колодец» новый микромодуль практически невозможно. Поэтому такие конструкции применять не рекомендуется.

Другим вариантом компоновки является установка микромодулей на субпанель в один ряд (рис. VII.3). Такая конструкция дает значительные потери в плотности компоновки и резко увеличивает количество переходных контактов, поэтому также не нашла широкого распространения и применяется лишь в отдельных случаях там, где требуется разнесение микромодулей для защиты от помех или при количестве микромодулей в блоке не более 10.

Более широко применяется метод двухрядных линеек (субпанелей) (рис. VII.4). Конструкция обеспечивает относительно высокую плотность и имеет значительные достоинства: упрощенный печатный монтаж, поскольку печатные проводники располагаются и на плате субпанели, и на объединительной плате; высокую технологичность, поскольку возможно изготовление однотипных печатных плат — субпанелей небольших размеров; высокую ремонтоспособность, поскольку конструкция обеспечивает простоту замены линеек с микромодулями.

Наиболее широкое распространение получил метод многорядной компоновки микромодулей на плате (рис. VII.5). В этом случае микромодули устанавливаются на печатные платы рядами или в шахматном порядке. При соединении двух плат микромодули, расположенные на одной плате, размещаются в зазоре между рядами микромодулей, установленных на второй плате. Такая конструкция обеспечивает высокую плотность, достаточно хорошую ремонтоспособность и позво-

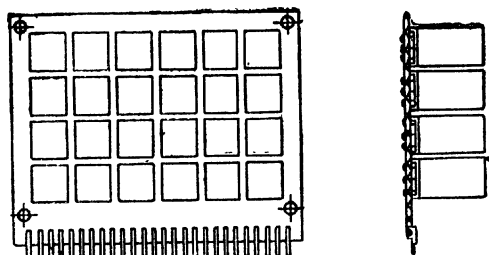


Рис. VII.2. Узел со сплошным расположением микромодулей.

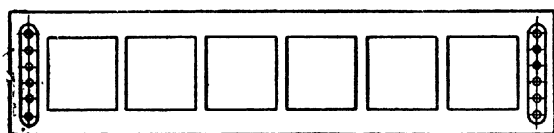
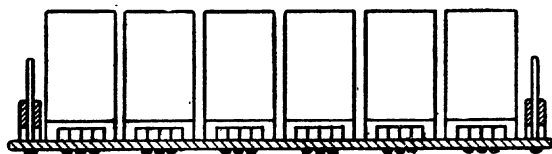


Рис. VII.3. Узел с линейным расположением микромодулей.

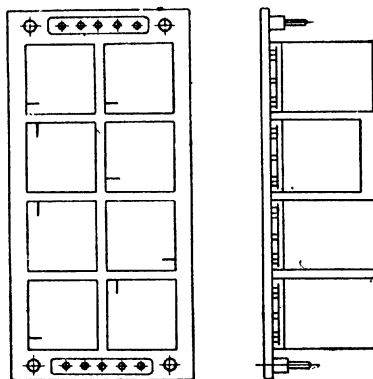

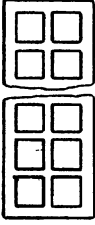
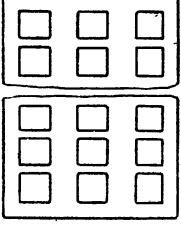
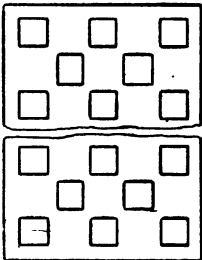
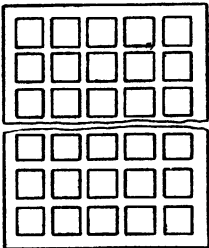


Рис. VII.4. Узел с линейным двухрядным расположением микромодулей.

ТАБЛИЦА VII.3

Вид компоновки	Схема расположения микромодулей на печатной плате	Рекомендуемый шаг		Рекомендации по применению
		между модулями, мм	между рядами, мм	
Однорядная		12,5	—	Применять: в узлах, предназначенных для работы в высокочастотных цепях; при количестве микромодулей в узле не более 10
Двухрядная		12,5	13,5	Применять при количестве микромодулей в узле от 4 до 12
Многорядная		12,5	25	Применять: при количестве микромодулей от 12 до 32; при необходимости увеличения площади печатного монтажа

ВНИМАНИЕ!

Вид компоновки	Схема расположения микромодулей на печатной плате	Рекомендуемый шаг		Рекомендации по применению
		между модулями, мм	между рядами, мм	
Многорядная		25	12,5	Применять: при количестве микромодулей от 12 до 32; при необходимости увеличения площади печатного монтажа
Многорядная		12,5	12,5	Применять не рекомендуется

Шахматная

Сплошная

ляет значительно упростить разводку печатного монтажа за счет увеличения площади печатных плат.

Основным способом установки микромодулей на печатной плате является вертикальная установка (рис. VII.6). Этот способ получил наиболее широкое

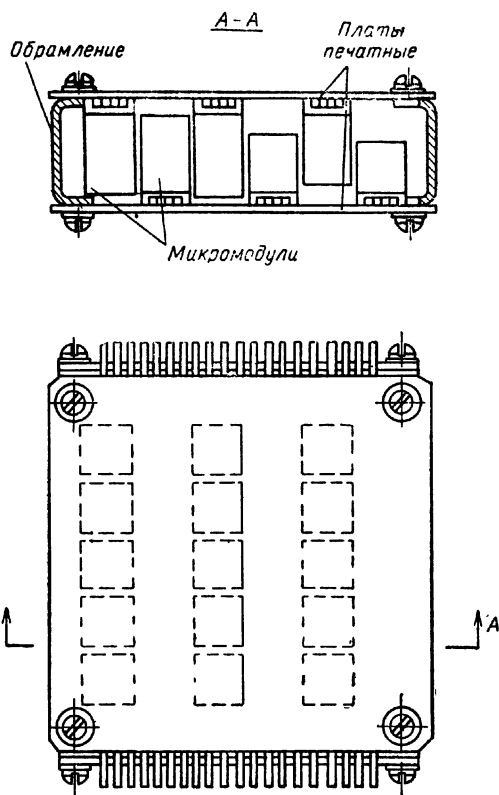


Рис. VII.5. Конструкция узла с линейным многорядным расположением микромодулей.

распространение, так как позволяет сравнительно простыми технологическими методами соединить 12 выводов микромодуля с печатным монтажом. Недостатком этого способа является некоторая потеря в объеме за счет разновысотности микромодулей.

В некоторых конструкциях аппаратуры микромодули на плате располагаются горизонтально. В этом случае для соединения выводов с печатным монтажом либо используют специальные концевые платы (рис. VII.7), либо проводят до герметизации микромодулей специальную формовку выводов, как это показано на рис. VII.8. Установка микромодулей в горизонтальном положении позволяет уменьшить потери в объеме за счет разновысотности микромодулей, однако значительно усложняет технологию изготовления самих микромодулей. Поэтому горизонтальный метод установки модулей на плату широкого распространения не нашел.

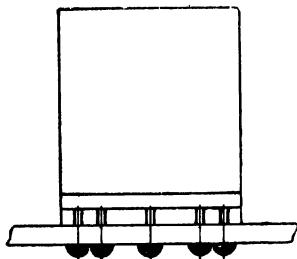


Рис. VII.6. Вертикальная установка микромодулей на печатную плату.

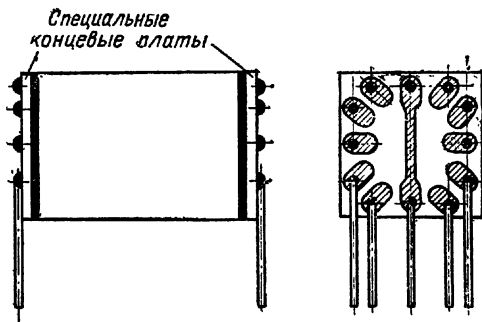


Рис. VII.7. Горизонтальная установка микро-модуля с концевыми платами.

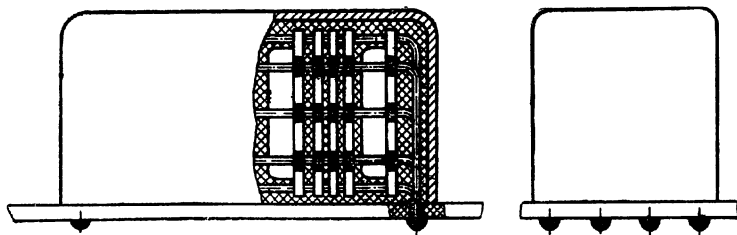


Рис. VII.8. Горизонтальная установка микро-модуля с формованными выводами.

VII.4. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

Конструктивные элементы, из которых строятся микромодульные блоки, можно укрупненно объединить в 4 основные группы:

- элементы электрических соединений (печатные платы, разъемы, колодки, контактные лепестки и т. д.);
- элементы несущих конструкций (каркасы, шасси, кожуха, передние панели, обрамления и т. п.);
- элементы крепления и фиксации;
- элементы экранировки и теплоотвода.

Ниже приводится описание конструктивных элементов, которые наиболее часто применяются в практике проектирования микромодульных блоков.

VII.4.1. Элементы электрических соединений

Печатные платы

Как уже говорилось выше, печатный монтаж является наиболее рациональным методом для осуществления электромонтажа микромодулей. В условиях опытного и мелкосерийного производства, как правило, применяются печатные платы, выполненные фотохимическим, фотоэлектрохимическим или комбинированным методами. Для крупносерийного производства возможно также применение метода переноса.

При изготовлении плат фотохимическим методом печатный монтаж получается, как известно, путем копирования изображения проводников с негатива на фольгированное основание, покрытое светочувствительным слоем с последующим травлением незащищенных участков фольги. Фотохимический метод позволяет получить наибольшую плотность проводников на печатной плате. Для подсоединения выводов микромодуля и других элементов в печатной плате сверлятся отверстия, которые используются и для механического крепления устанавливаемых элементов. Электрическое подсоединение выводов осуществляется подпайкой их внахлестку к контактными площадкам, расположенным вокруг установоч-

ных отверстий. Технология изготовления плат этим методом весьма проста и отличается высокой производительностью.

Другим достоинством плат, изготовленных фотохимическим методом, является отсутствие ограничений толщины самой платы, что в ряде случаев имеет большое значение. Однако, поскольку все печатные проводники плат, изготовленных фотохимическим методом, расположены на одной стороне, для микромодульной аппаратуры, имеющей сложные электрические связи, разводка печатной схемы с использованием одного слоя весьма затруднительна, а иногда и невозможна. Поэтому возникает необходимость устанавливать объемные перемычки, а следовательно, вводить дополнительные переходные контактные соединения, что уменьшает общую надежность изделия. Это привело к тому, что в последнее время платы, изготовленные фотохимическим методом, находят ограниченное применение.

При фотоэлектрхимическом методе изготовления печатные проводники получают путем химического осаждения металлов с последующим наращиванием гальваническим способом. При этом методе изготовления проводники обладают относительно меньшей электропроводностью и более слабым сцеплением с диэлектрическим основанием. Разрешающая способность также значительно ниже по сравнению с фотохимическим методом. Существуют ограничения и по допустимым диаметрам отверстий, которые зависят от толщины плат.

При изготовлении плат комбинированным методом в качестве исходного материала используется двухсторонний фольгированный диэлектрик. Металлизированные отверстия под установку выводов микромодулей и других элементов выполняются путем химического осаждения металлов с последующим гальваническим усилением. Таким образом, при данном методе изготовления получают печатные платы, которые объединяют положительные качества фотохимического и фотоэлектрхимического методов — относительно высокую разрешающую способность, электропроводность и прочность сцепления с основанием печатных проводников, надежность подсоединения выводов микромодулей. Технологически этот метод несколько сложнее описанных выше, однако преимущества по основным параметрам сделали

этот метод основным при изготовлении микромодульных печатных плат.

Рекомендуемые марки материалов приведены в табл. VII.2.

ТАБЛИЦА VII.2

Метод изготовления	Марка материала	ГОСТ или ТУ	Толщина материала, мм
Комбинированный	Стеклотекстолит фольгированный СФ-2	МРТУ-16-509 001-64	0,8—2,0
	Низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-2	МЖ-44-63	1,5—2,0
Фотохимический	Стеклотекстолит фольгированный СФ-1	МРТУ 16-509 001-64	0,8—2,0
	Низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-1	МЖ-44-63	1,5—2,0

В зависимости от вида и величины механических воздействий рекомендуется использовать печатные платы толщиной 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Предельное соотношение сторон 1:5, рекомендуемые соотношения 1:2; 1:3.

По технологическим соображениям максимальные размеры печатных плат, применяемых для микромодульных блоков, ограничиваются размерами 120×180 мм, если между выводами микромодуля прокладываются печатные проводники, и 240×360 мм, если печатные проводники прокладываются за пределами контура, ограниченного выводами микромодуля.

При конструировании печатных плат конструктору особенно важно знать разрешающую способность печатного монтажа, т. е. количество печатных проводников, которое возможно провести на единице длины. Очевидно, что это количество определяется минимальными допустимыми размерами печатных проводников и расстояниями между ними с учетом допусков на изготовление. В табл. VII.3 приведена разрешающая способность для комбинированного и фотохимического методов.

Из таблицы видно, что фотохимический метод обладает несколько большей разрешающей способностью.

В зависимости от диаметра выводов радиоэлементов и толщины платы производится выбор диаметров мон-

ТАБЛИЦА VII.3

Метод изготовления	В свободных местах (рекомендуемые)		В узких местах (минимально допустимые)	
	ширина проводника, мм	расстояние между проводниками, мм	ширина проводника, мм	расстояние между проводниками, мм
Комбинированный	1,5	0,8	0,4	0,3
Фотохимический	1,5	0,8	0,3	0,3

тажных отверстий и зенковки (табл. VII.4). Для выводов большего диаметра, чем указанные в таблице, диаметр отверстий выбирается из условий сохранения за-

ТАБЛИЦА VII.4

Толщина платы, мм	Диаметр отверстий, мм	Диаметр зенковки, мм	Угол зенковки, град.	Диаметр выводов, мм
0,8; 1,0; 1,5	0,8	1,1	70	До 0,45
	1,0	1,7	70	0,46—0,6
	1,3	2,0	80	0,61—0,9
2,0	1,3	2,2	70	0,61—0,9
	1,5	2,2	70	0,91—1,1
	2,0	2,7	70	1,1—1,6

зора между выводами и стенкой отверстия, равного 0,15—0,2 мм; диаметр зенковки выбирается из условия:

$$d_{\text{зенк}} = d_{\text{отв}} + 0,7 \text{ мм.}$$

Отверстия под выводы радиоэлементов в платах, изготовленных фотохимическим методом, выполняются без зенковки. В этом случае диаметр отверстий не зависит от толщины платы. Принято, чтобы центры по крайней мере двух монтажных отверстий под выводы микромодулей располагались в узлах координатной сетки. На рис. VII.9 представлены примеры расположения монтажных отверстий под микромодули на печатных платах. Контактная площадка под первый вывод микромодуля должна иметь форму, отличную от остальных контактных площадок. Обычно она выполняется в виде

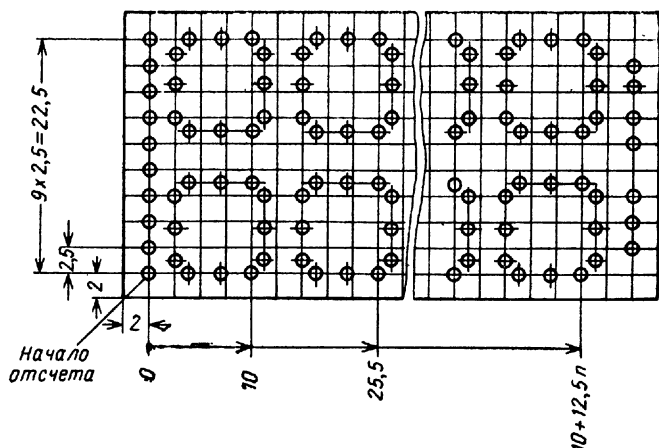


Рис. VII.9. Пример расположения монтажных отверстий в печатных платах под выводы микромодуля.

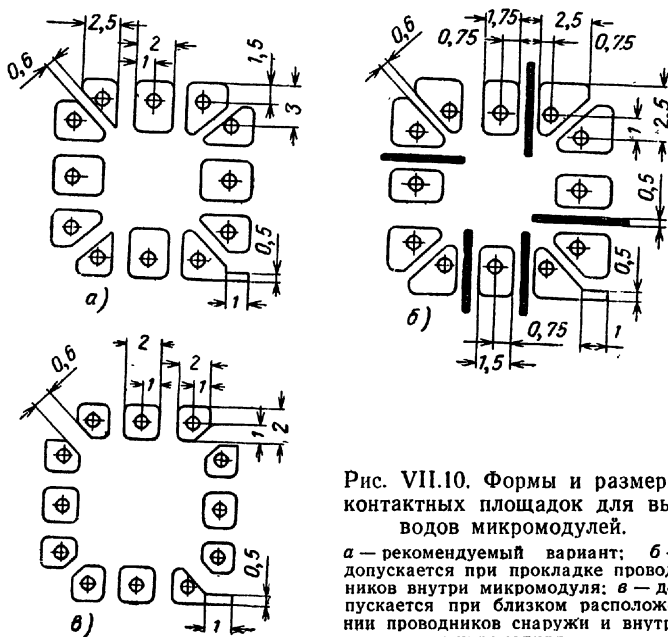


Рис. VII.10. Формы и размеры контактных площадок для выводов микромодулей.

a — рекомендуемый вариант; *б* — допускается при прокладке проводников внутри микромодуля; *в* — допускается при близком расположении проводников снаружи и внутри микромодуля.

«усика» длиной 1—4 мм, который может быть произвольно повернут в любую сторону в зависимости от имеющегося свободного места на плате.

Центры отверстий на печатной плате, предназначенные под выводы навесных радиоэлементов, также располагаются в узлах координатной сетки. Таким же образом рекомендуется располагать центры крепежных отверстий. Металлизированные отверстия имеют контактные площадки, расположенные с обеих сторон платы. Форма контактной площадки для любого способа изготовления печатных плат может быть произвольная. Допускается уменьшение ширины площадок в узких местах до 0,15 мм, считая от края отверстия — для фотохимического метода и до зенковки — для комбинированного. Пример оформления формы и размеров контактных площадок для установочных отверстий под выводы микромодулей представлены на рис. VII.10. Точность расположения монтажных отверстий находится в пределах $\pm 0,1$ мм.

Элементы межузловых и межблочных соединений

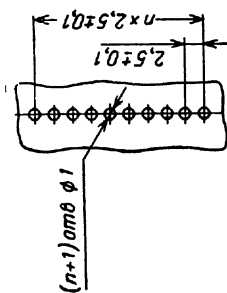
Для соединения узлов с объединительными платами используют объемный монтаж, колодки и разъемы.

Наиболее простым вариантом соединения узлов с объединительной платой является объемный монтаж. Применение объемного монтажа упрощает ремонт узла, однако приводит к значительным потерям в объеме. Так, объем, приходящийся на соединительные элементы, включая печатную плату, может достигать 50% объема блока. Поэтому в большинстве случаев применяются специальные переходные колодки, которые позволяют значительно уменьшить объем, приходящийся на соединения, и повысить надежность самих соединений.

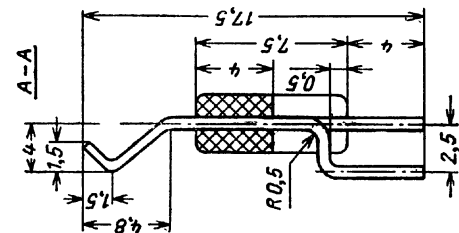
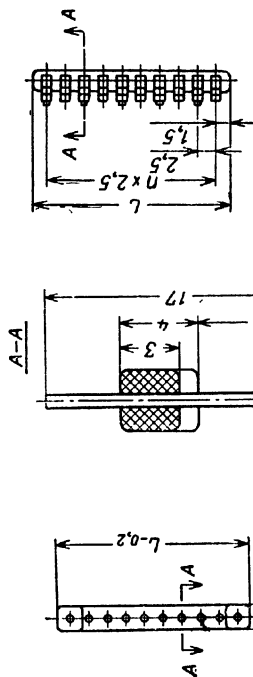
На рис. VII.11—VII.13 показаны колодки для соединения печатного монтажа микромодульных узлов с печатным монтажом объединительных плат.

Для соединения узлов с шахматным и линейным расположением микромодулей наиболее часто применяются специальные колодки (рис. VII.14) в сочетании со штырями (рис. VII.15), устанавливаемыми на печатной плате узла. Для выходов с печатных плат блоков

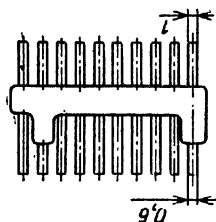
**Пример разметки
платы**



n	L	Количество контактов
4	12,5	5
9	25	10



**Пример разметки
платы**



n	L	Количество контактов	A
9	25.5	10	20
14	38	15	35

Рис. VII.11. Колодки соединительные для узловой платы.

Рис. VII.12. Колодки соединительные для объединительной платы.

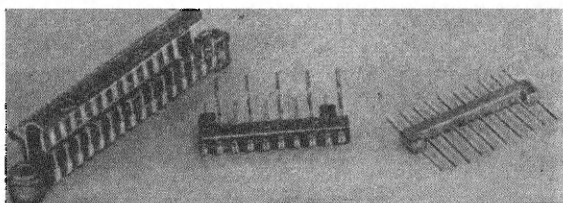


Рис. VII.13. Кабельная и соединительные колодки для узловых и объединительных печатных плат.

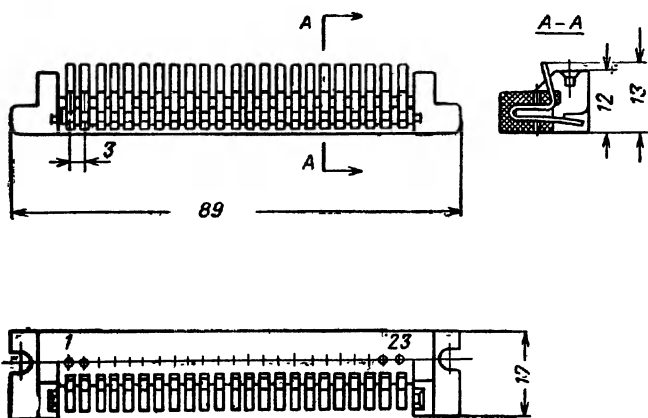


Рис. VII.14. Соединительная колодка.

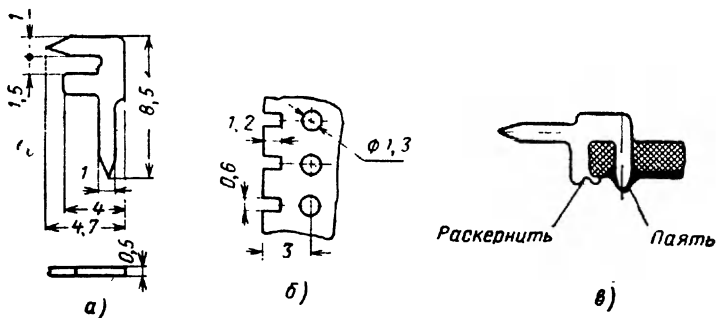


Рис. VII.15. Конструкция соединительного контакта:
а — контакт; б — разметка платы под контакты; в — установка контакта на плату.

используются контакты в различных конструктивных исполнениях (рис. VII.16).

Внешние электрические соединения блоков и устройств, как правило, осуществляют с помощью разъ-

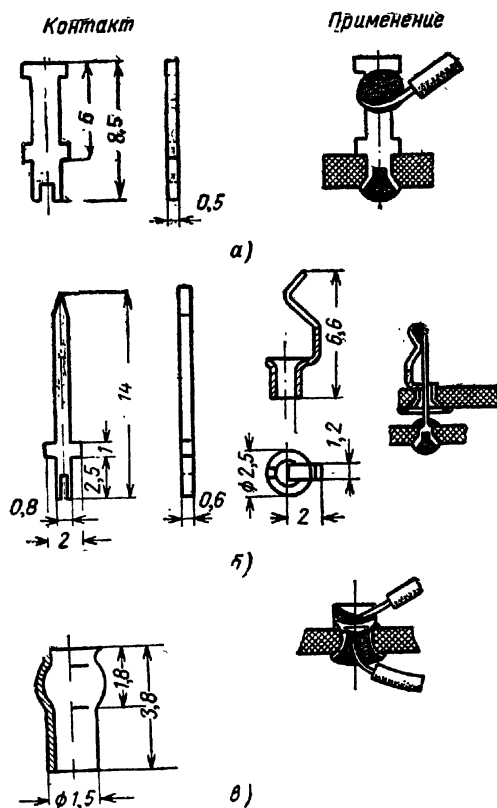


Рис. VII.16. Контакты печатных плат блоков:

а — лепестковый; б — штыревой; в — трубчатый.

емов. В случае, если требуется повышенная надежность соединений, применяют разъемы с последующей перепайкой контактных пар. Пример конструкций такого разъема представлен на рис. VII.17.

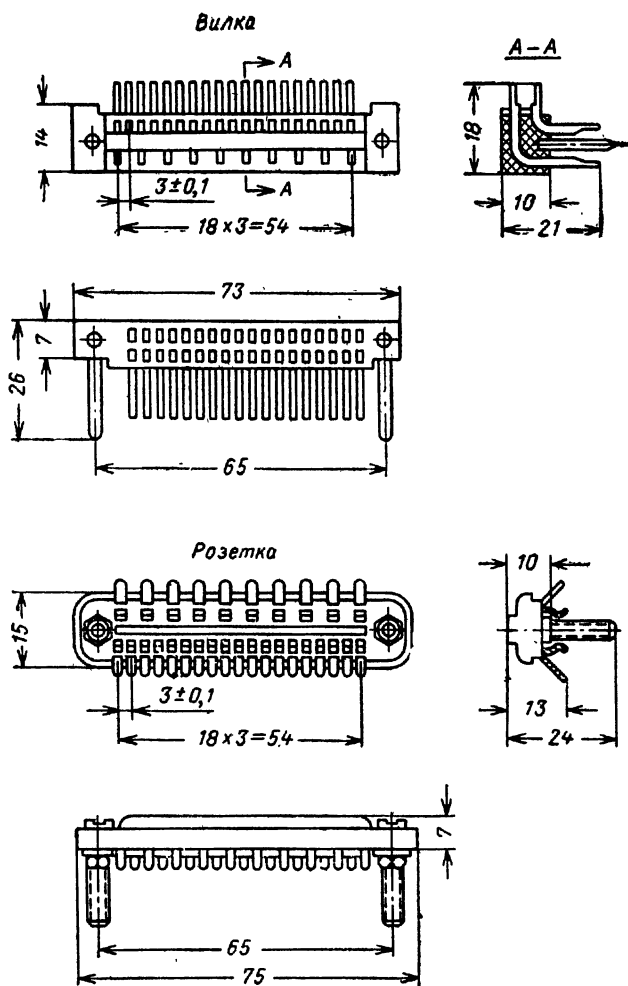


Рис. VII.17. Разъем ножевого типа с перепайкой контактных групп.

VII.4.2. Элементы несущих конструкций

Элементы несущих конструкций предназначены для размещения, механического крепления, защиты от механических перегрузок и внешних воздействий комплектующих изделий микромодульных блоков. Основными требованиями, которые предъявляются к элементам несущих конструкций, являются:

— минимальный вес и габариты;

— высокая технологичность и возможность механизации процессов изготовления;

— взаимозаменяемость однотипных деталей, т. е. создание деталей, не требующих механической подгонки при установке их в блок;

— надежность механического крепления входящих элементов.

В практике конструирования микромодульных блоков в зависимости от стадии изготовления находят применение несущие конструкции, изготавливаемые методом штамповки, гибки, сварки, литья,

Рис. VII.18. Пример несущей конструкции блока, выполненной из тонколистового материала.

а также методом прессования, который применяется для неметаллических несущих конструкций. Из материалов, применяемых в микромодульных блоках, наибольшее распространение получили алюминиевые сплавы. Широкое применение алюминиевых сплавов объясняется их малым удельным весом и относительно высокой прочностью.

Для несущих элементов конструкций из неметаллических материалов применяется пресс-материал АГ-4 и пеноматериал ПУ-3. В последнем случае для улучшения прочностных характеристик применяют армирование его стеклотканью типа ЭСТБ-40.

В ряде случаев находят применение другие мате-

риалы, такие, как конструкционные стали 10, 20, нержавеющая сталь 1X18H9T, титановые сплавы BT1, BT5 и др.

Оценка оптимальности применяемых материалов производится по отношению модуля упругости E к удельному весу материала γ (табл. VII.5). В равнопрочных конструкциях наименьший вес будет иметь конструкция из материала с большим отношением E/γ .

ТАБЛИЦА VII.

Материал	$E, \text{кг/см}^2$	$\gamma, \text{г/см}^3$	E/γ
Сталь 10, 20	20 600	7,85	2 620
Сталь 1X18H9T	20 000	7,94	2 550
Алюминиевый сплав АМЦ	7 200	2,73	2 640
Алюминиевый сплав АМГ	7 200	2,67	2 700
Латунь Л62	11 000	8,5	1 290
Титановый сплав BT1	11 500	4,5	2 550
Магнийевый сплав МА5	4 000	1,8	2 280

Пример конструктивного выполнения несущей конструкции из листового материала представлен на рис. VII.18. В данном случае для увеличения механической прочности и жесткости, применяется профилирование материала в виде отбортовок, зигов, пуклевок, введение ребер жесткости и т. д. Несущие конструкции выполняются, как правило, замкнутой коробчатой формы. На рис. VII.19 показан вариант литого шасси из алюминиевого сплава. Такие конструкции выгодно применять при серийном изготовлении. Пример применения пресс-материалов для несущих конструкций показан на рис. VII.20. Вариант конструкции, выполненной из пенополиуритана, показан на рис. VII.21.

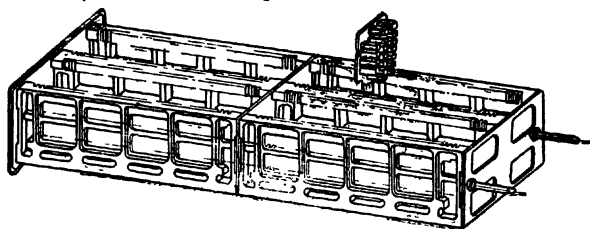


Рис. VII.19. Пример несущей конструкции блока, выполненной методом литья.

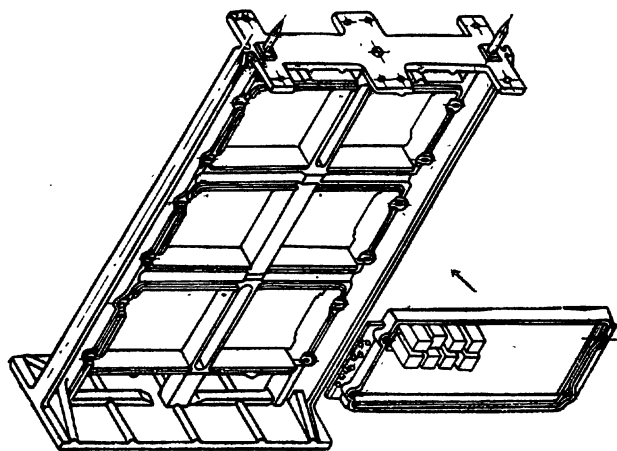


Рис. VII.20. Пример несущей конструкции блока, выполненной из пресс-материалов

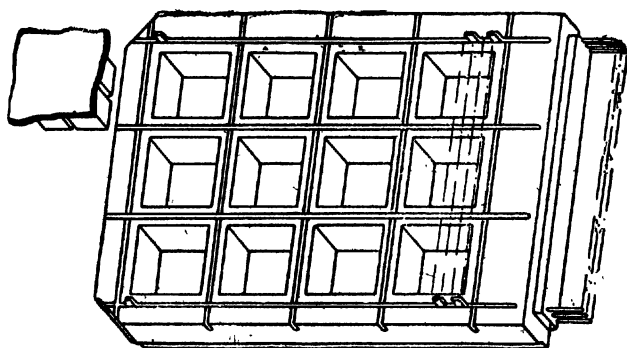


Рис. VII.21. Пример несущей конструкции блока, выполненной из пенополиуретана.

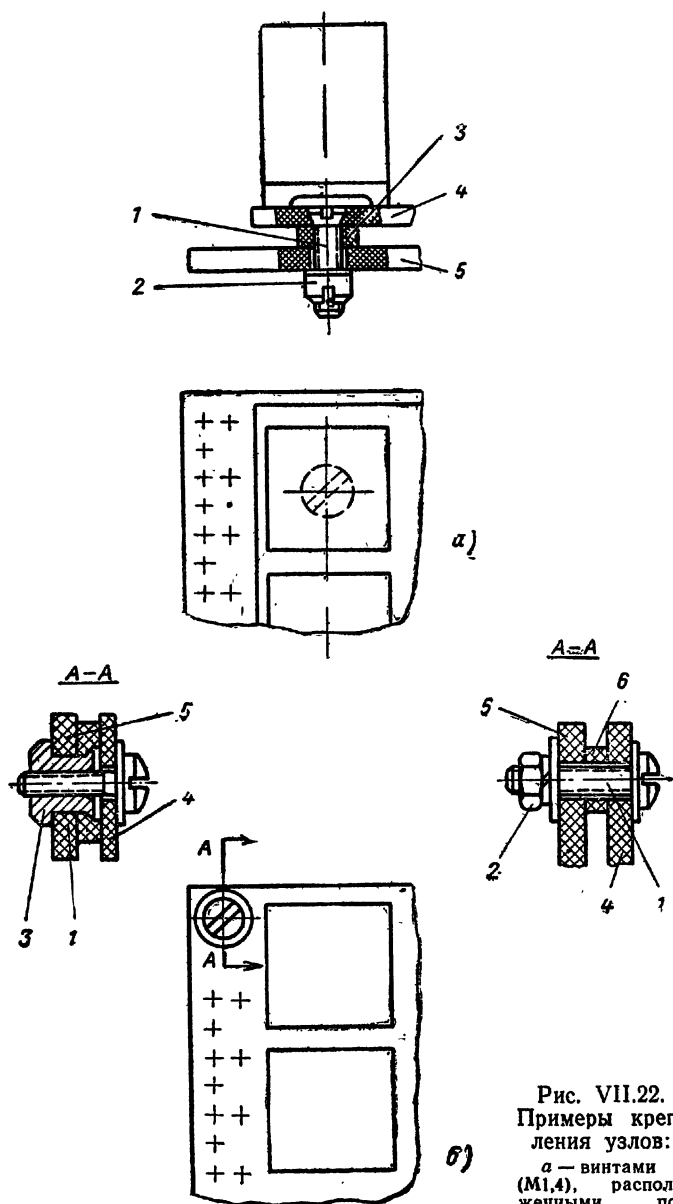


Рис. VII.22.
Примеры крепления узлов:

a — винтами (M1,4), расположенными под микромодулем;

б — винтами (M2), расположенными по периметру платы; 1 — винг; 2 — гайка; 3 — втулка резьбовая (вставить на клей); 4 — печатная плата узла; 5 — печатная плата блока; 6 — втулка.

VII.4.3. Элементы крепления и фиксации

В микромодульных конструкциях используются как разъемные соединения, выполненные с помощью винтов и гаек, так и неразъемные, полученные с помощью клепки, сварки, клейки. Микромодульные узлы в блоке крепятся обычно винтами М1,4 и М2. Примеры наиболее

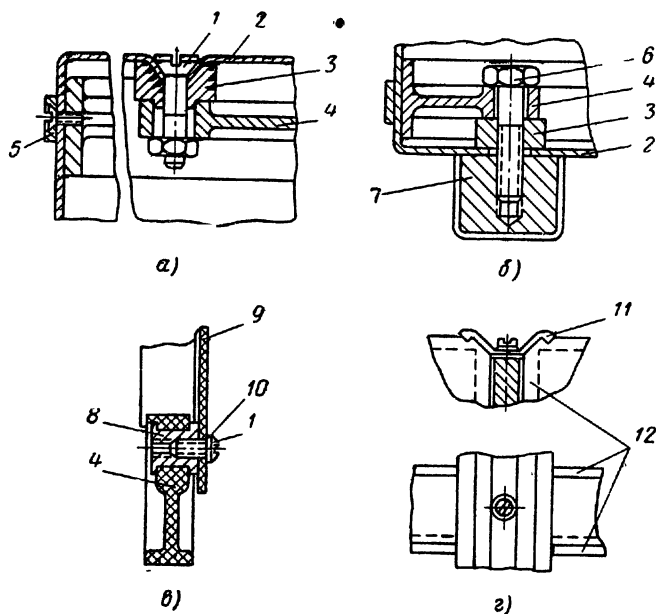


Рис. VII.23. Пример крепления элементов несущих конструкций:

1 — винт; 2 — обшивка; 3 — втулка; 4 — рама; 5 — планка; 6 — болт; 7 — направляющая; 8 — букса; 9 — плата печатная; 10 — шайба; 11 — пружина; 12 — платы печатные.

рационального метода крепления узлов при плоской компоновке представлены на рис. VII.22. В этом случае винты М1,4 устанавливаются под микромодулями и не приводят к потерям объема за счет введения точек крепления. В случае крепления винтами М2, последние располагаются по периметру печатной платы узла. Расстояние между точками крепления в случае применения

винтов М1,4 не превышает 25 мм, а для винтов М2 — 60 мм.

Крепление микромодульных блоков в стойке (шкафу) обычно осуществляется со стороны передней панели с фиксацией задней стенки продольными направляющими либо фиксирующими штырями. В случае, если к разрабатываемой аппаратуре предъявляются особо жесткие требования к механической прочности, используются безлюфтовые соединения фиксирующих элементов в виде жесткого штыря и цангового гнезда.

Широкое применение нашел метод крепления с использованием стяжных винтов. Наиболее распространенные методы крепления несущих конструкций показаны на рис. VII.23,а — г.

VII.4.4. Элементы экранировки и теплоотвода

Электрическая защита в микромодульных блоках имеет особое значение в связи с уменьшением уровня сигналов и повышением плотности компоновки радиоэлементов. Учитывая это, при проектировании в целях обеспечения нормальной работы принимаются специальные меры по электрической защите микромодульных блоков.

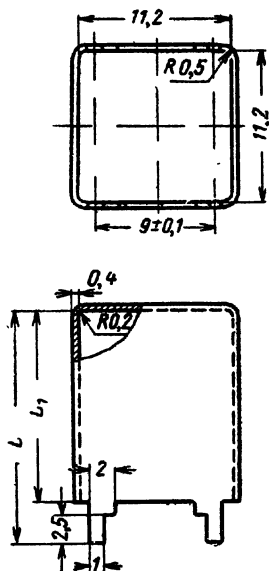
Высокочастотные цепи выполняются экранированными кабелями. Если это сделать невозможно, монтажные провода, а также печатные проводники, по которым текут токи высокой частоты, располагают относительно друг друга под углом, близким к 90°. В печатных платах, применяемых для высокочастотных блоков, по периметру создается замкнутая металлизированная рамка, соединенная с корпусом блока. Отдельные каскады разделяются печатными проводниками заземления со стороны установки микромодулей. Экранируются отдельные микромодули, узлы и блоки в целом.

В качестве защитного экрана используются металлические колпачки (рис. VII.24). Электрическая защита со стороны плат осуществляется печатными экранами (рис. VII.25).

Магнитные элементы, входящие в состав блока, устанавливаются таким образом, чтобы их магнитные поля располагались под углом, близким к 90°. Проводники

одноименных цепей соединения магнитных элементов (цепей записи, стирания, продвигающих цепей и т. д.) располагаются в непосредственной близости параллельно друг другу, как это показано на рис. VII.26.

Экраны для защиты от полей высокой частоты изготавливаются из немагнитных сплавов с обязательным покрытием поверхности экрана металлом с повышенной



№ п/п	Высота микро- модуля, мм	L_1	L
1	10	11,5	16
2	11	12,5	17
3	12	13,5	18
4	13	14,5	19
5	14	15,5	20
6	15	16,5	21
7	16	17,5	22
8	17	18,5	23
9	18	19,5	24
10	19	20,5	25
11	20	21,5	26
12	21	22,5	27
13	22	23,5	28
14	23	24,5	29
15	24	25,5	30
16	25	26,5	31

Рис. VII.24. Экраны для микромодулей.

проводимостью. Обычно применяется серебрение. Экранирование постоянного или медленно меняющегося магнитного поля осуществляется экранами из сплавов с высокой относительной магнитной проницаемостью, например пермаллоя.

Иногда возникает необходимость иметь решетчатые экраны. В этом случае в экранах допускается наличие узких щелей или небольших отверстий с размерами, меньшими $1/4$ длины волны. Во всех случаях особое внимание уделяется надежному соединению экранов с корпусом блока или устройства. Заземление в микромодульных блоках, как и в обычной радиоаппаратуре, осуществляется посредством гибких или жестких шин и

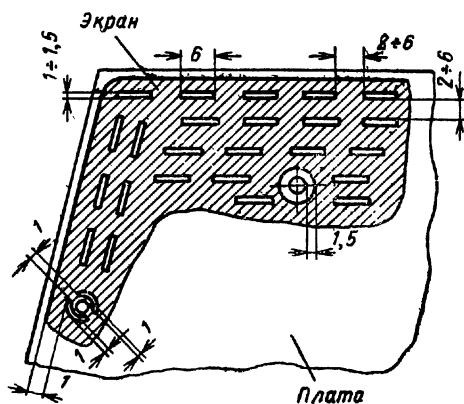


Рис. VII.25. Пример выполнения печатных экранов, технологических и крепежных отверстий в них и отверстий под выводы навесных элементов.

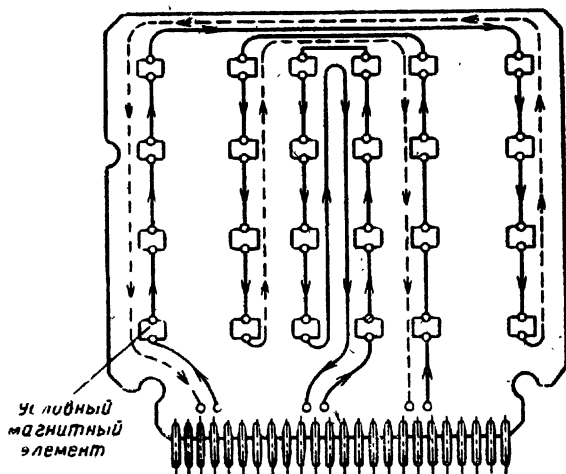


Рис. VII.26. Разводка цепей соединения магнитных элементов.

объемных проводников. Соединение указанных элементов с печатной платой производится пайкой, а с корпусом блока — пайкой или креплением под винт. В блоках с несущей конструкцией из изоляционного материала заземление выполняется путем установки контактных шин, соединенных между собой в общую земляную цепь.

VII.5. ВАРИАНТЫ КОНСТРУКЦИЙ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

Варианты конструкций микромодульных блоков принято классифицировать согласно табл. VII.6.

Как правило, конструктор радиоаппаратуры стремится создать конструкцию с минимальными весами и объемами. Рекомендующим соотношением между весом микромодульного блока и весом входящих в него радио-

ТАБЛИЦА VII.

Классификация конструкций			Рекомендуемый вид компоновки микро-модулей
по положению печатных плат узлов	по способу электрического монтажа между узлами	по количеству печатных плат	
Параллельное	Печатный	Одноплатные	Линейное однорядное и двухрядное
Перпендикулярное	Печатный	Многоплатные	Линейное многорядное
	Объемный	Одноплатные	Линейное многорядное и шахматное

элементов считается соотношение 2:1 или менее. Наибольший объемный эффект получается при применении в конструкции блока узлов одного вида, например, с линейным двухрядным, многорядным или шахматным расположением микромодулей.

Микромодульные узлы, входящие в блок, устанавливаются на монтажную плоскость, которая в зависимости от принятого способа монтажа представляет собой объединительную печатную плату или несущую панель с расположенными на ней монтажными элементами. Узлы устанавливаются на печатную плату с шагом, кратным шагу координатной сетки, т. е. 2,5 мм. Это диктуется необходимостью установки монтажных элементов — колодок, монтажных стоек и т. д. — в узлах координатной сетки. Между печатной платой узла и объединительной печатной платой блока предусматривается зазор, необходимый для предотвращения замыкания монтажных элементов плат. Минимальная величина зазора 1 мм. В случае защиты блоков от воздействия окружающей среды путем лакировки поверхностей печатных плат зазор между ними увеличивается до 2—

2,5 мм. Рекомендуемая форма микромодульных блоков прямоугольная. Варианты конструкций блоков приведены на рис. VII.27 — VII.29.

Для электрического соединения печатных плат блока в многослойных конструкциях и перехода от печатных

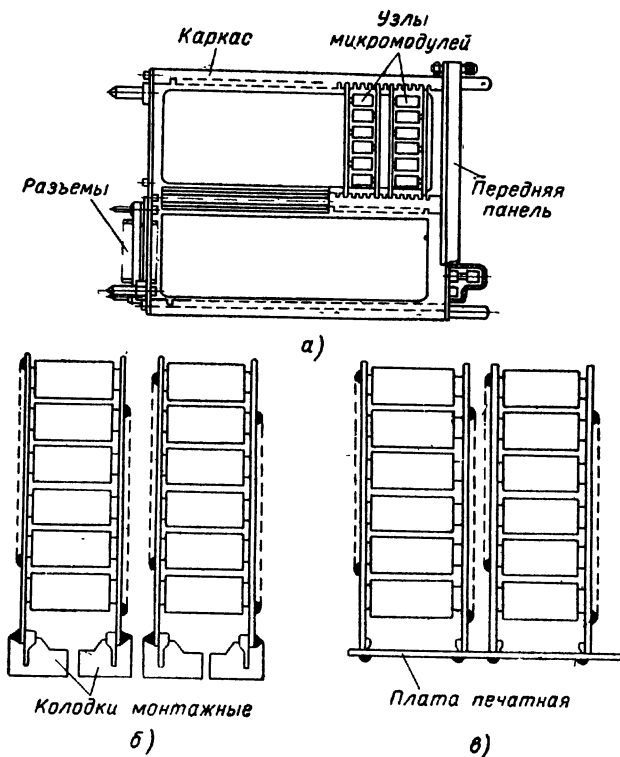


Рис. VII.27. Конструкция блока с перпендикулярным положением печатных плат узлов относительно плоскости их соединения:

а — блок; б — узлы, соединенные объемным монтажом; в — узлы, соединенные печатным монтажом.

плат к монтажным соединительным элементам, элементам коммутации, индикации и контроля применяется объемный монтаж. Контактные соединения выполняют, как правило, пайкой.

Паять монтажные провода, имеющие возможность перемещения при эксплуатации, непосредственно в отвер-

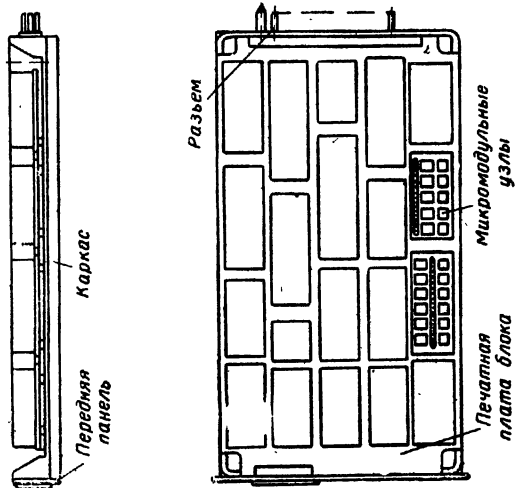
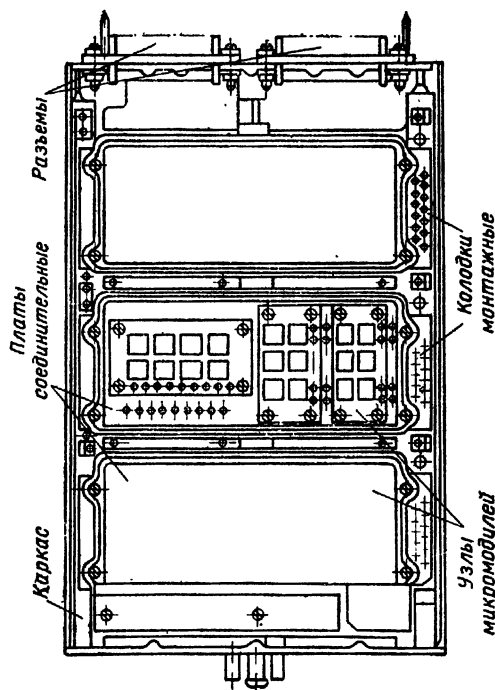


Рис. VII.29. Конструкция одноплатного микро-модульного блока.

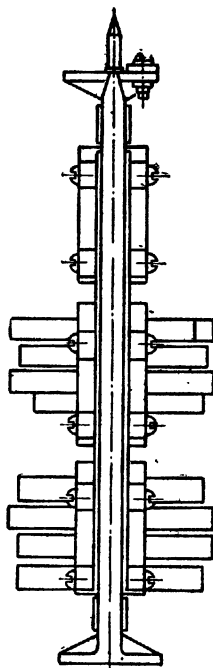


Рис. VII.28. Конструкция многоплатного микро-модульного блока.

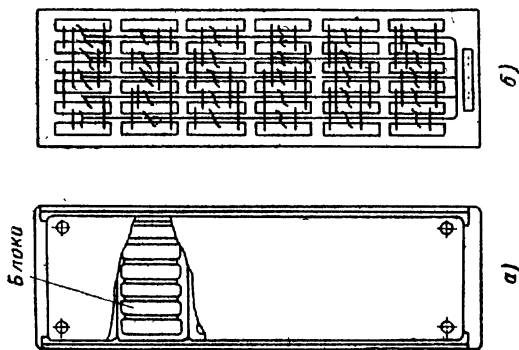
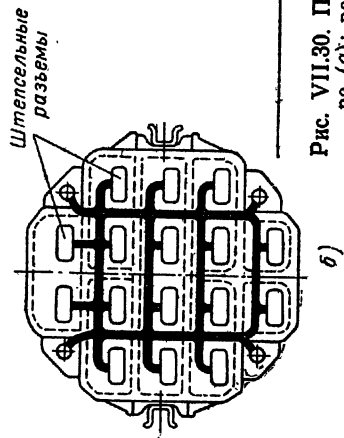
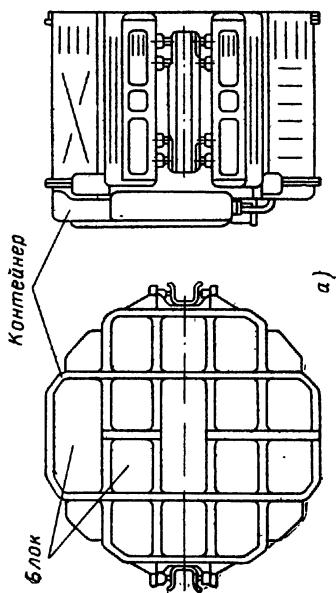


Рис. VII.31. Пример компоновки блоков в шкафу (а); разводка монтажа в шкафу (б).

Рис. VII.30. Пример компоновки блоков в контейнере (а); разводка монтажа в контейнере (б).

стия печатной платы не рекомендуется. Для перехода от печатного к объемному монтажу на печатных платах устанавливаются специальные контакты. Для печатных плат, требующих частой замены в процессе эксплуатации, применяются разъемные соединители с дополнительным резервированием контактных пар путем перепайки.

Внешние электрические цепи микромодульных блоков выводятся на штепсельные разъемы. При компоновке блоков в системы используются конструктивные решения, применяемые в обычной радиоаппаратуре. Примеры компоновки блоков приведены на рис. VII.30 — VII.31.

VII.6. ЗАЩИТА МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Микромодульные блоки и узлы предохраняют от воздействия климатических факторов в условиях эксплуатации. Степень защиты определяется в зависимости от этих условий. К рекомендуемым способам защиты относятся: полная герметизация аппаратуры металличе-

ским кожухом, кондиционирование окружающего воздуха, заливка компаундами и смолами, лакировка.

Наибольшее пространство получил метод лакировки погружением. В этом случае методы установки микромодулей и радиоэлементов на печатную плату должны обеспечивать возможность прохождения лака или другого влагозащитного материала к открытым печатным проводникам и местам пайки выводов. Для этого микромодули и радиоэлементы в микромодуль-

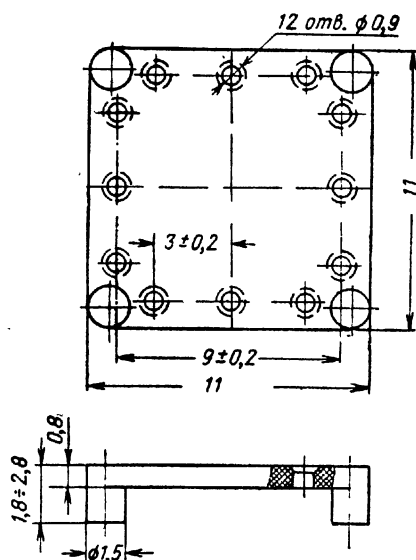


Рис. VII.32. Пластмассовая подставка под микромодуль.

ном исполнении устанавливаются на специальные пластмассовые подставки (рис. VII.32). Поверхности, не подлежащие лакировке, приподнимаются над поверхностью печатной платы на 3—4 мм.

VII.7. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

Температурный режим является одним из важнейших факторов, определяющих надежность изделий радиоэлектронных устройств. Так, понижение температуры от $+75$ до $+50^{\circ}\text{C}$ уменьшает среднюю интенсивность отказов резисторов и конденсаторов более чем в 2 раза. Учитывая, что повышение плотности компоновки при конструировании аппаратуры на микромодулях приводит к резкому увеличению удельной выделяемой мощности, вопросы отвода тепла приобретают важное значение.

Учет требований по температурному режиму и их выполнение на стадии конструирования производится на основании предварительных расчетов, подтверждающих правильность выбора вида и основных параметров системы охлаждения. В зависимости от стадии разработки блока различаются два вида расчетов:

1. Расчет на стадии проектирования блока. При этом определяются виды охлаждения и методы компоновки микромодулей, обеспечивающие нормальные условия работы.

2. Поверочный расчет сконструированного блока. При этом уточняются данные, полученные при изучении разработанного блока.

Условия охлаждения и мощности рассеивания в отдельных микромодулях задаются техническим заданием на разработку.

Допустимая среднеобъемная температура микромодуля определяется техническими условиями на микроэлементы, входящие в состав рассматриваемых микромодулей. Например, для микромодуля содержащего триоды с диапазоном рабочих температур $-60 \div +73^{\circ}\text{C}$ и конденсаторы с диапазоном рабочих температур $-60 \div +125^{\circ}\text{C}$, допустимая среднеобъемная температура составит 73°C .

Для охлаждения микромодульных блоков могут применяться следующие методы;

— естественная конвекция. Это наиболее простой способ охлаждения. Применяется при малых уровнях рассеиваемой мощности и относительно малой плотности компоновки;

— принудительное охлаждение продувом воздуха или протоком жидкости. Широко применяется для аппаратуры, имеющей высокую удельную мощность тепловыделения. Эффективность данного метода зависит от скорости и плотности продуваемого или прокачиваемого агента;

— термоэлектрическое охлаждение. Эффективно при необходимости снижения температуры элементов ниже температуры окружающей среды. Этот метод, как правило, применяется для локального охлаждения элементов, если температура окружающей среды выше допустимой температуры самих элементов.

Порядок выбора вида охлаждения следующий. По методике расчета естественного воздушного охлаждения проводят расчет температурного режима микромодульного блока. Если в этом случае не обеспечивается нормальный температурный режим микромодулей, исследуется возможность отвода тепла через теплоотводящие шины на корпус блока. Если и это не дает желаемого результата, проводится расчет системы с принудительным воздушным или жидкостным охлаждением. Для блоков, работающих в условиях окружающей среды с температурой, близкой или выше допустимой температуры микроэлементов, применяется термоэлектрическое охлаждение.

При расчете естественного воздушного охлаждения задается:

- мощность рассеивания микромодулей;
- допустимые температуры на микроэлементы, входящие в состав рассчитываемых микромодулей;
- габариты и компоновка микромодулей в блоке;
- температура окружающего воздуха;
- давление окружающего воздуха.

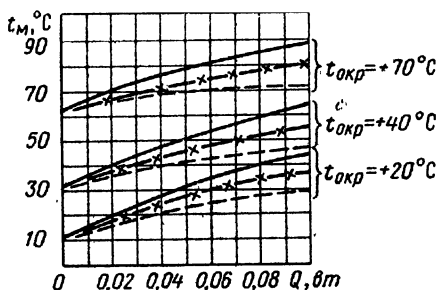
На практике, как правило, для расчета пользуются графиками, полученными экспериментально. Поскольку конструкции и их компоновка в зависимости от назначения имеют самые разнообразные исполнения, а предусмотреть все это разнообразие невозможно, то для ориентировочного расчета пользуются условными бло-

ками, которые имитируют тепловой режим отдельных микромодулей.

Если принять, что на печатной плате условного блока с шагом 12,5 мм установлено 64 микромодуля с одинаковой мощностью рассеяния Q (рис. VII.33,а), то при нормальном атмосферном давлении H_0 определение среднеобъемных температур для углового и центрального микромодулей можно вести по графику, изображенному

1	5	9	13	17	21	25	29
2	6	10	14	18	22	26	30
3	7	11	15	19	23	27	31
4	8	12	16	20	24	28	32
33	37	41	45	49	53	57	61
34	38	42	46	50	54	58	62
35	39	43	47	51	55	59	63
36	40	44	48	52	56	60	64

а)



б)

Рис. VII.33. Схема расположения микромодулей в условном блоке (а) и график зависимости температуры микромодулей от рассеиваемой мощности и температуры окружающей среды (б):

— центральные микромодули (16, 20, 45 и 49); — — — угловые микромодули (1, 29, 36 и 64); — X — все микромодули при наличии общих тепловых шин, не имеющих стоков тепловой энергии.

на рис. VII.33,б. Зная мощность рассеяния микромодуля и температуру окружающего воздуха $t_{окр}$, в зависимости от положения микромодуля (в углу или в центре блока) на оси ординат находим среднеобъемную температуру микромодуля. При расчете аппаратуры, работающей при давлении, отличном от нормального, вводится поправочный коэффициент, который определяется по графику, приведенному на рис. VII.34.

Следует подчеркнуть, что точность результатов, полученных по приведенной методике, зависит от степени соответствия рассматриваемого блока условному блоку, для которого определялись эти графики. Графический метод общедоступен, отличается малой трудоемкостью и вполне может быть использован для приближенных расчетов.

При расчете микромодульных блоков с принудитель-

ным воздушным охлаждением в качестве исходных данных задаются: максимальная мощность рассеивания микромодуля, минимально допустимая положительная температура микроэлементов, температура окружающего воздуха на входе в блок и на выходе из блока, число модулей в ряду и число рядов, максимальная мощность рассеяния одного ряда. В результате расчета разработанной конструкции определяются: скорость охлаждающего

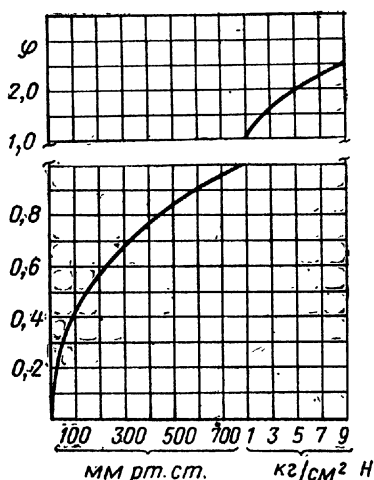


Рис. VII.34. Зависимость поправочного коэффициента от давления охлаждающего воздуха в блоке:

$$\varphi = (H/H_0)^{0.43}; \quad H = 760 \text{ мм рт. ст.}$$

той зоны на 15—20% (для естественного охлаждения);

— выводы модулей с наибольшими мощностями рассеяния обеспечивать контактными площадками с максимально возможной поверхностью, так как большая часть тепловой энергии распространяется вдоль выводов;

— если поверхность несущих конструкций (шасси, каркаса и т. д.) работает как сток тепловой энергии, ее необходимо делать ребристой;

— в блоках с принудительным обдувом не должно быть мест, по которым может проходить воздух, минуя основные теплоотводящие поверхности микромодулей.

щего воздуха, расход охлаждающего воздуха, тип вентиляционного агрегата и мощность электродвигателя. Для проектируемого изделия, кроме указанных величин, определяется также сечение для прохода воздуха.

При конструировании микромодульных блоков необходимо учитывать следующие рекомендации:

— микромодули, рассеивающие наибольшее количество тепловой энергии, располагать по углам блоков или по его периферии;

— теплоотдающие поверхности покрывать черной краской или лаком. Этот метод позволяет снизить температуру нагре-

Следует также иметь в виду, что для герметичного блока увеличение габаритных размеров при неизменной удельной мощности приводит к увеличению перегрева элемента, так как в этом случае увеличение мощности происходит в кубической зависимости, а теплоотводящей поверхности — в квадратичной.

При принудительном охлаждении увеличение габаритных размеров для неизменной удельной мощности сказывается менее резко, так как теплосъем происходит с внутренних поверхностей.

VII.8. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Термоэлектрический метод охлаждения основан на эффекте Пельтье и состоит в том, что при пропускании постоянного тока через соединение двух термоэлектрических полупроводниковых материалов, один из которых имеет электронную, а другой дырочную проводимость, в этих материалах происходит изменение энергетических уровней электронов. В результате этого происходит выделение или поглощение тепла в зависимости от направления тока на концах термоэлектрической батареи.

Применение термоэлектрического охлаждения наиболее рационально, когда температура окружающей среды выше или равна допустимой температуре для микромодульных элементов. Применение этого метода целесообразно также для локального охлаждения отдельных модулей в целях обеспечения облегченного режима работы. Для подобных условий работы термоэлектрическое охлаждение по сравнению с другими системами охлаждения (например, термокомпрессионными) обладает рядом достоинств, в том числе: бесшумностью работы, отсутствием движущихся частей, отсутствием промежуточного теплоносителя, стабильностью работы при любой ориентации в пространстве, простотой реверсирования от охлаждения к нагреву путем изменения направления тока, относительно малыми габаритными размерами и весом, возможностью локального охлаждения небольших объемов и т. д.

Недостатками термоэлектрического метода охлаждения является большое потребление энергии и увеличение общего тепловыделения в системе, так как сама термобатарея при работе является источником тепла.

Термоэлектрическое охлаждающее устройство может быть сконструировано для любого числа микромодулей и совместно с ним представлять собой законченный узел. На рис. VII.35 показан пример термоэлектрического устройства для охлаждения двух микромодулей. Конструктивно термоэлектрическое устройство включает следующие основные элементы:

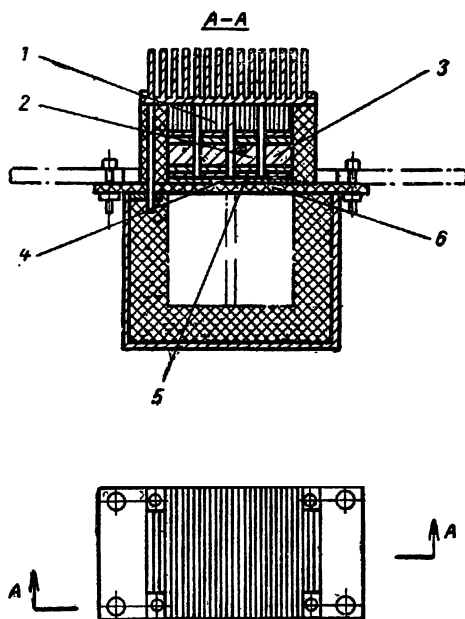


Рис. VII.35. Конструкция термоэлектрического охлаждающего устройства для двух микромодулей:

1 — горячий теплопереход; 2 — положительная ветвь термоэлемента; 3 — отрицательная ветвь термоэлемента; 4 — демпферная пластина; 5 — холодный теплопереход; 6 — коммутационная пластина.

— положительную и отрицательную ветви термоэлемента, представляющие собой брикеты из полупроводникового сплава дырочной и электронной проводимости соответственно;

— коммутационную пластину, выполненную в виде

металлической перемычки для электрического соединения термоэлементов;

— холодный и горячий теплопереходы, представляющие собой электрические изолированные слои для осуществления теплового контакта между соответствующими спаями и теплообменными конструкциями;

— демпфирующую прокладку, выполненную в виде свинцовой пластины и служащей для компенсации тепловых расширений;

— радиатор, выполненный из алюминиевого сплава;

— теплоизолирующую прокладку для предохранения охлаждаемых микромодулей от потока тепла, поступающего из окружающей среды.

Следует отметить, что вес, объем и потребляемая мощность охлаждающего устройства в пересчете на один модуль снижаются с увеличением общего количества охлаждаемых микромодулей.

VII.9. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОМОДУЛЕЙ

Как уже указывалось выше, микромодули позволяют уменьшить объем и вес радиоэлектронных блоков в среднем в 3—5 раз по отношению к самым миниатюрным конструкциям, построенным на современных субминиатюрных радиодеталях и полупроводниковых приборах с применением печатного монтажа.

Наибольший эффект от применения микромодулей достигается при конструировании блоков устройств, использующих цифровые методы обработки сигналов, таких, как арифметические устройства, синхронизаторы, шифраторы и дешифраторы сигналов и т. п. Для этих устройств характерным является применение небольшого количества типов микромодулей при большом количестве используемых в устройстве микромодулей. Так, например, в арифметическом устройстве некоторых цифровых вычислительных машин содержится более 3000 микромодулей только 5 типов. Большая повторяемость одинаковых типов микромодулей и отсутствие таких «больших» деталей, как реле, переключатели, конструкция и т. п., позволяют создать весьма плотные компоновки из микромодулей и дают наибольший выигрыш по объему и весу по отношению к аналогичной аппара-

туре из обычных радиодеталей. Выигрыш в этих случаях может достигнуть 5,7 и даже 10 раз.

Для приемно-усилительных устройств и блоков питания эффект от использования микромодулей снижается за счет потери объема на крупногабаритные детали, характерные для этих устройств (контура, мощные трансформаторы, подстраиваемые элементы и т. п.). Для этих устройств уменьшение объема и веса может быть по крайней мере в 1,5—2 раза.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОМОДУЛЕЙ

Микромодульный метод конструирования наряду со значительным сокращением габаритных размеров и весов радиоэлектронной аппаратуры и повышением ее надежности создает условия для разработки типовых технологических процессов, позволяет механизировать и автоматизировать производство.

Типовой технологический процесс изготовления микромодулей в зависимости от вида производства (опытное или серийное) может несколько видоизменяться, однако последовательность и содержание технологических операций будут оставаться в основном одинаковыми.

На рис. VIII.1 приведена схема типового технологического процесса изготовления микромодулей.

VIII.1. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ И КОМПЛЕКТАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

При получении микроэлементов от завода-поставщика производят прежде всего проверку правильности их упаковки. Микроэлементы распаковывают из посылочной тары без нарушения герметизации основной упаковки и проверяют на соответствие изделий маркировке, проверяют наличие паспортов и упаковочных ведомостей в соответствии с требованиями технических условий. Затем микроэлементы передают на склад для хранения. При обнаружении несоответствия маркировки, упаковки и т. д. требованиям технических условий, микроэлементы возвращаются заводу-поставщику. На упаковочной таре отмечают дату поступления микроэлементов на хране-

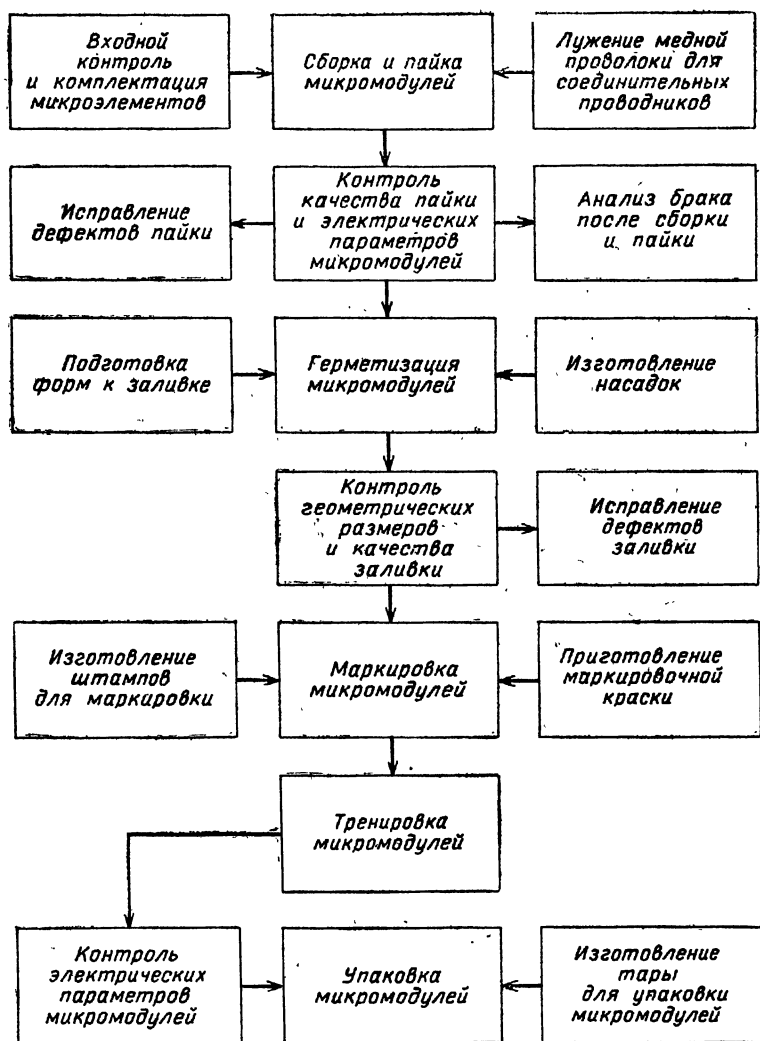


Рис. VIII.1. Схема типового технологического процесса изготовления микромодулей.

ние, номер накладной, количество микроэлементов в партии, завод-поставщик и т. д.

Микроэлементы раскладывают в ящиках стеллажей склада. На ящиках стеллажей указывают типономиналы хранящихся микроэлементов.

Хранение микроэлементов может быть: длительным (в герметизированной таре), но не более срока хранения, гарантируемого заводом-изготовителем; кратковре-

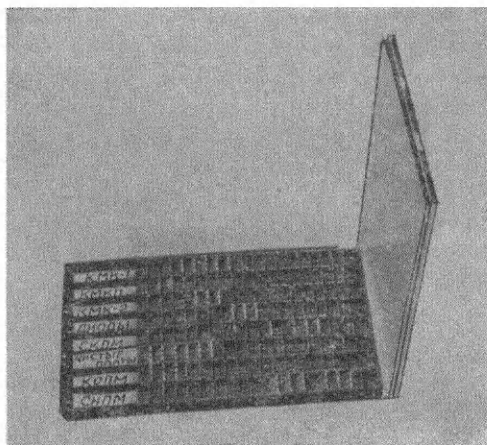


Рис. VIII.2. Специальная тара для микроэлементов.

менным (в полиэтиленовой упаковке или в открытом состоянии) также не более гарантируемого срока хранения. Не допускается хранение микроэлементов навалом, так как это приводит к их повреждению.

По заявке производства микроэлементы из склада хранения передают на входной контроль. В лаборатории входного контроля вскрывают упаковку и проводят проверку всех микроэлементов по внешнему виду, по качеству лужения пазов, по габаритным и установочным размерам и по электрическим параметрам на соответствие техническим условиям.

Не допускаются такие виды дефектов, как отступление геометрических размеров по периметру и высоте от указанных в чертеже, сколы и трещины на микроплатах,

неправильное заполнение пазов припоем, наплывы и замыкание соединительных пазов, наличие темных окисленных мест, наличие загрязнений, окислов, жиров, пыли и т. п.

Контроль электрических параметров производят на универсальной контрольно-измерительной аппаратуре в соответствии с требованиями и по методикам, указанным в технических условиях на микроэлементы.

Микроэлементы проверяют по основным электрическим параметрам. Например, у конденсаторов проверяют величину емкости, у резисторов — сопротивление, у катушек индуктивности — добротность и индуктивность, у микротранзисторов проверяют обратные токи коллектора и коэффициент усиления по току и т. д.

Микроэлементы комплектуют в специальную тару (рис. VIII.2) в соответствии со спецификацией на микромодули и в этой таре передают на участок сборки микромодулей.

VIII.2. СБОРКА И ПАЙКА МИКРОМОДУЛЕЙ

Сборка микроэлементов в микромодули производится в сборниках типа «гребенка» (рис. VIII.3). Сборник представляет собой рамку с двумя осями, на которых

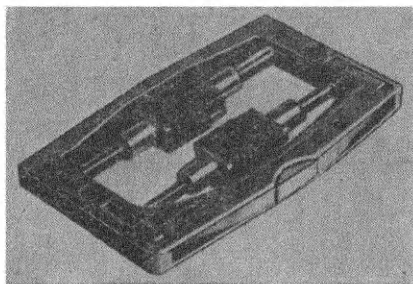


Рис. VIII.3. Сборник типа «гребенка» для сборки микроэлементов в микромодуль

плотно набраны металлические пластины толщиной 0,25 мм с эксцентричным расположением фиксирующих отверстий. Поворачивая пластины вокруг осей, создают пакеты, в которых пазы чередуются с выступами в соответствии с чертежом на микромодуль.

Пайку микромодулей можно производить вручную паяльником или полуавтоматически с помощью специального приспособления (рис. VIII.4), которое автоматически выдерживает заранее установленный режим пайки (температуру и время пайки).

При пайке с помощью приспособления пропускают электрический ток через стальную ленту, которая в течение 2—3 сек разогревается до температуры 300—320° С. Эта лента приводится в соприкосновение с натянутыми соединительными проводниками и расплавляет припой во всех пазах микроэлементов, контактирующих с лентой.

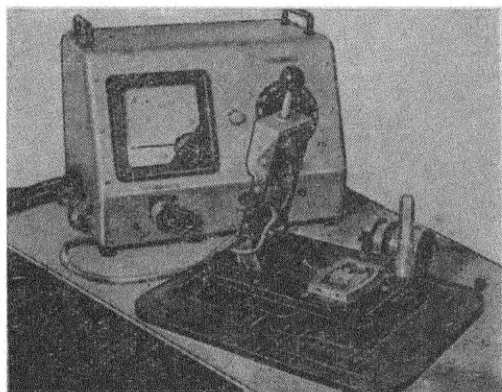


Рис. VIII.4. Приспособление для сборки и пайки микромодулей.

При пайке применяют некоррозийный флюс, который наносится кисточкой на соединительные проводники и не требует последующей промывки этажерки. Режим пайки зависит от количества микроэлементов в микромодуле, их расположения относительно друг друга, их толщины и т. д. После пайки соединительные проводники с помощью этого же приспособления отрезают в размер.

После контроля качества пайки и электрических параметров каждый микромодуль обертывают в целлофановую ленту, на которую наклеивают метку с условной маркировкой. Микромодули укладывают в тару и транспортируют на операцию герметизации.

VIII.3. ГЕРМЕТИЗАЦИЯ МИКРОМОДУЛЕЙ

Герметизацию микромодулей осуществляют различными способами. Сборка микроэлементов может заливаться в форме эпоксидным компаундом, после отверж-

дения которого обеспечивается достаточная жесткость и устойчивость микромодуля к различным внешним эксплуатационным воздействиям. Возможна герметизация с помощью металлической капсулы. Торец капсулы заливают эпоксидными компаундами.

К компаунду, используемому для заливки микромодулей, предъявляется целый ряд требований. Компаунд должен обеспечивать хорошее заполнение заданных объемов, достаточную механическую прочность в полимеризованном состоянии, минимальную водопоглощаемость, высокую электрическую прочность, обладать высокой нагревостойкостью и термостойкостью при циклическом воздействии температур, при отверждении иметь малую усадку.

Наибольшее применение нашли компаунды на основе эпоксидных смол с добавкой пылевидного кварца, молотой слюды, сажи и отвердителей. Каждая из составных частей компаунда играет определенную роль в формировании исходных свойств компаунда. Отвердитель вызывает процесс необратимого отверждения эпоксидной смолы. Пылевидный кварц и смола ослабляют возникающие внутренние механические напряжения, которые возникают после отверждения в микромодуле в результате разности значений коэффициентов линейного расширения металлических деталей модуля и компаунда. Для уменьшения хрупкости и удлинения жизненности* в компаунд вводят различные пластификаторы.

Перед приготовлением компаунда пылевидный кварц прокаливают и просеивают через мелкое сито, слюдяную муку и сажу высушивают в термостате. После прокаливания и просушки наполнители во избежание потери свойств хранят в эксикаторе. После соединения в необходимой пропорции составляющих компаунда, их тщательно перемешивают и вакуумируют.

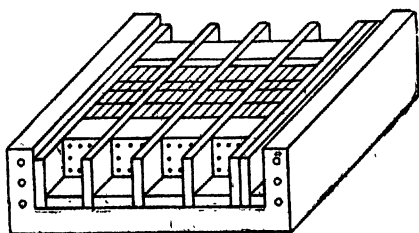
Для герметизации микромодулей используют заливочные формы различной конструкции (рис. VIII.5), одноместные и многоместные. Перед заливкой детали форм очищаются от остатков компаунда предыдущей заливки и насухо протираются. Для предотвращения прилипания компаунда к стенкам рабочих полостей де-

* Жизненность — способность компаунда сохранять достаточную текучесть в течение определенного периода времени.

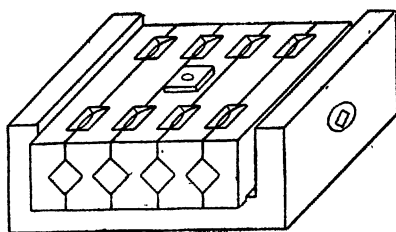
тали формы смазывают специальным составом и собранную форму в течение 2—3 час прогревают в термостате.

Защиту выводов микромодулей и оформление торцов при заливке производят с помощью специальных насадок. Применяют резиновые насадки однократного использования, металлические и пластмассовые многократного использования. Надевание насадок производят вручную или с помощью специальных приспособлений.

Микромодули с надетыми насадками укладывают в формы, помещают в термостат и выдерживают в нем для просушки микроэлементов при повышенной температуре (около 70°C) в течение 2—3 час. Заливку компаунда в формы с помещенными в них микромодулями можно производить вручную с помощью бумажных мерных конусов (рис. VIII.6) или полуавтоматически с помощью литьевых машин (рис. VIII.7).



а)



б)

Рис. VIII.5. Заливочные формы для герметизации микромодулей:

а — открытая форма; б — закрытая форма.

После полимеризации компаунда при повышенной температуре формы с микромодулями извлекают из термостата, охлаждают до комнатной температуры и разбирают. Разобранные формы и металлические насадки направляют на операцию подготовки форм и насадок к заливке для следующих партий. Залитые микромодули направляют на операцию снятия литников и облоя.

После разборки форм на поверхности микромодуля возможно присутствие остатков облицовочного состава форм. Это нежелательно, так как может отразиться на качестве маркировки, которую выполняют после герметизации. Поэтому в производстве применяют промывку

микромодулей. При наличии на поверхности микромодуля раковин, диаметр которых больше 0,8 мм, поверхность микромодуля зачищают, обезжиривают и раковины заполняют компаундом по технологии заливки. После

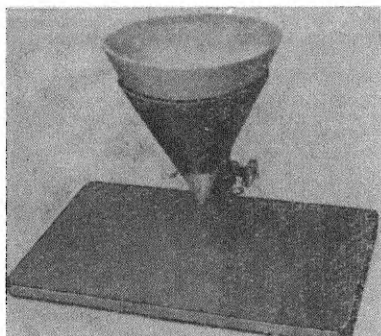


Рис. VIII.6. Бумажный мерный конус для заливки микромодулей компаундом.

полимеризации исправленные места зачищают.

В процессе проведения герметизации контрольную подвергают технологические режимы нагрева форм, приготовления компаунда и заливки микромодулей; геометрические размеры микромодуля (ширина, длина и высота, длина выводов), перпендикулярность торца относительно боковых граней; внешний вид микромодуля (следы зажимов, деформации, обрывы выводов не допускаются).

На поверхности микромодулей должны отсутствовать царапины, сколы и т. п. По торцовым поверхностям недопустимы раковины, воздушные пузыри, облой, затекание компаунда на выводы более 1 мм. Боковые поверхности микромодуля должны быть ровными, глянцевыми,

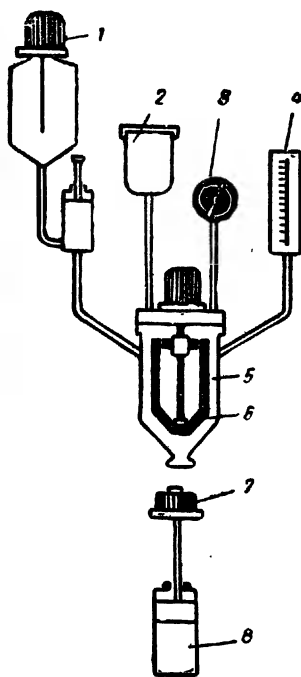


Рис. VIII.7. Схема полуавтоматической литьевой машины для заливки микромодулей компаундом:

1 — бак компонентов; 2 — бак с растворителем; 3 — мановакуумметр; 4 — бак отвердителя; 5 — дозатор компонентов; 6 — смеситель; 7 — форма; 8 — подъемный стол.

без пятен. Допускаются незначительные усадочные мениски в интервалах между микроэлементами, единичные пузырьки и раковинки в количестве не более трех на каждой грани микро модуля и с диаметром не более 0,5 мм.

После герметизации производят маркировку микро модулей. В качестве краски для маркировки используют составы на эпоксидном лаке с красящим веществом. Поверхность микро модуля, подлежащая маркировке, должна быть ровной, гладкой, без изъянов, не иметь загрязнений и жировых пятен. Маркировочный знак наносят путем легкого соприкосновения резинового штампа с растертой на стекле маркировочной краской и перенесения на маркируемую поверхность легким нажимом штампа. Затем микро модули просушивают.

После маркировки производят рихтовку выводов микро модуля, микро модули укладывают в тару и направляют на термоэлектротренировку. В случае необходимости перед тренировкой производят проверку электрических параметров.

VIII.4. ТРЕНИРОВКА МИКРОМОДУЛЕЙ

Сущность тренировки микро модулей заключается в том, чтобы в процессе непрерывного постоянного воздействия повышенной температуры и электрических напряжений вызвать ускоренное «выжигание» ненадежных элементов с тем, чтобы исключить из периода эксплуатации те микро модули, которые имеют скрытые дефек-

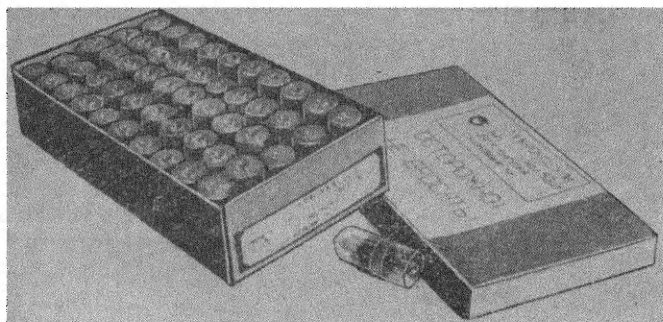


Рис. VIII.8. Тара для упаковки микро модулей.

ты при изготовлении. Термоэлектротренировку микро-модулей осуществляют в специальных стендах, которые обеспечивают создание для микромодулей необходимого температурного и электрического режима. Несмотря на то, что термоэлектротренировка значительно удлиняет технологический цикл изготовления микромодулей (подробнее см. гл. X), включение ее в технологический процесс обязательно, так как эта операция повышает качество выпускаемых микромодулей примерно на порядок и в конечном счете окупается.

После термоэлектротренировки микромодули проверяют на соответствие техническим условиям.

Контроль электрических параметров можно проводить вручную с помощью стандартных измерительных приборов или полуавтоматически с помощью специальных установок. После контроля микромодули упаковывают в тару (рис. VIII.8).

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

В гл. VII рассматривались различные типы конструкций микромодульных блоков и было показано, что, несмотря на возможное многообразие блоков, общим для них является обязательное наличие печатных плат с установленными на них микромодулями и отдельными радиоэлементами. Группы микромодулей и радиодеталей, объединенные общими печатными платами, образуют функциональные узлы, которые хотя и отличаются размерами и выполняемыми функциями, но ввиду общности конструкции изготавливаются по типовой технологии с использованием стандартного технологического оборудования.

IX.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОМОДУЛЬНЫХ УЗЛОВ

Схема типового технологического процесса изготовления микромодульных узлов приведена на рис. IX.1.

В соответствии со спецификацией на конкретный узел или на партию узлов производится комплектация входящих в узел изделий: микромодулей, обычных радиодеталей, колодок, печатных плат, крепежа и различных материалов. При получении со склада детали проверяют на соответствие сопроводительным документам и укладывают в соответствующую технологическую тару.

После поступления в сборочный цех входящие детали контролируются внешним осмотром на отсутствие механических повреждений и наличие клейма ОТК. Особое внимание следует обратить на срок хранения

печатных плат, который не должен превышать срока хранения, указанного в соответствующих документах. Кроме того, микромодули и навесные радиоэлементы, как правило, подвергают 100%-ному контролю по электрическим параметрам с занесением отметок о проверке в сопроводительном документе.

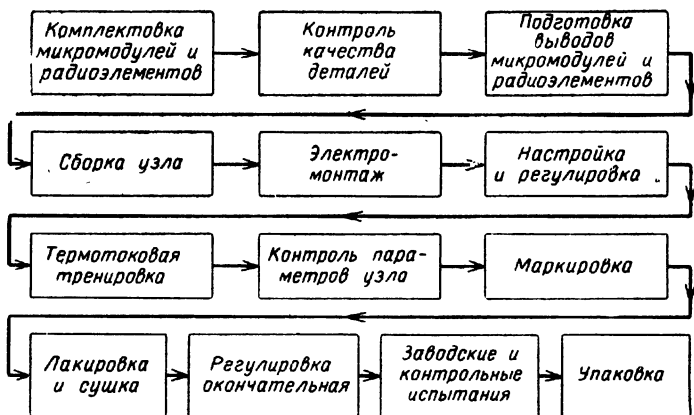


Рис. IX.1. Схема типового технологического процесса изготовления микромодульных узлов.

У навесных радиоэлементов производят облуживание выводов с предварительным флюсованием в ванне с припоем ПОС-61 при температуре 260°C в течение 2—3 сек. Затем выводы рихтуют, формуют и производят обрезку в размер на специальном технологическом оборудовании.

Нижние концы микромодулей рихтуют, а верхние концы обрезают на высоту в пределах 0,5 мм от основания микромодуля. Подготовленные детали укладывают в технологическую тару.

Входящие в состав узла контакты устанавливают на печатную плату и расчеканивают в размеры согласно требованиям чертежа.

Входящий в узел крепеж (винты, различные резьбовые втулки и т. п.) подвергают тщательной промывке. Для этого винты и втулки укладывают в специальную кассету с ячейками и все содержимое на несколько

минут помещается в ванну со спирто-бензиновой смесью в поле действия ультразвука. Промывку проводят в специальных помещениях с приточно-вытяжной вентиляцией. Затем кассету с крепежом просушивают на воздухе до исчезновения запаха бензина и приводят выборочный контроль качества промывки. Подготовленный таким образом крепеж укладывают в тару, которая тоже должна быть промыта примерно в таких же условиях.

Процесс электрического монтажа и сборки микромодульных узлов и блоков проводят в соответствии с требованиями чертежа и технических условий, составленных на конкретный узел, блок или группу узлов и блоков.

Сборку микромодульного узла производят на монтажной печатной плате, которая является основанием конструкции узла и должна обеспечивать удобное для монтажа, сборки и ремонта расположение деталей и необходимую прочность их закрепления. Плату устанавливают и закрепляют на поворотной монтажной раме-подставке (рис. IX.2).

На закрепленную печатную плату устанавливают микромодули с подставками (рис. IX.3), которые предварительно одевают на выводы микромодулей и для усиления жесткости приклеивают к микромодулю эпок-

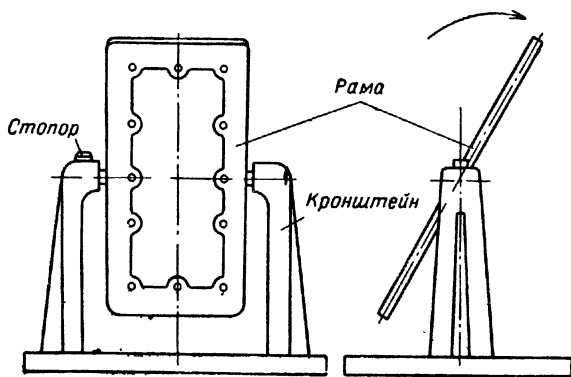


Рис. IX.2. Монтажная рама-подставка для сборки микромодульных узлов.

сидным клеем. Всю эту работу выполняют с помощью пинцетов, бокорезов и других приспособлений, которые исключают какие-либо загрязнения и сборку руками.

Установленные на плату микромодули с подставками закрепляют отгибкой двух выводов микромодуля, расположенных по диагонали друг от друга на угол $75-80^\circ$; затем выводы микромодулей, кроме загнутых обрезают, оставляя выступающую часть над платой

согласно требованиям чертежа. Также отгибкой выводов закрепляют другие радиоэлементы, которые устанавливают на плату таким образом, чтобы маркировка на них располагалась в одном направлении, доступном для чтения.

После проведения перечисленных сборочных работ проверяется правильность установки входящих деталей согласно требованиям чертежа и производится пайка выводов навесных радиоэлементов и микромодулей. Для улучшения качества пайки рекомендуется предварительно перед пайкой производить сушку платы

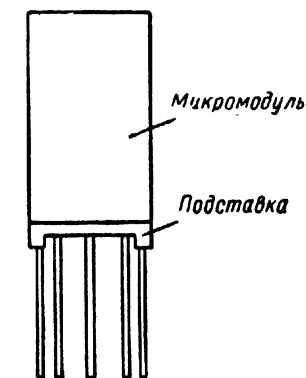


Рис. IX.3. Микромодуль с микромодульной подставкой.

в течение 1,5—2 час при температуре $90-100^\circ\text{C}$.

В случае ручной пайки паяльником очень важно точно соблюдать технологические режимы, указанные в технологических инструкциях. Обычно для пайки применяются паяльники мощностью 25—30 вт и напряжением 36 в. Длительность непрерывного касания жалом паяльника вывода микромодуля не должна превышать 4—5 сек. Рекомендуется при пайке выводов микромодулей соблюдать длительность перерыва между повторными пайками не менее 3—5 сек. Пайка производится припоем ПОС-61 с применением флюсов типа ФПП, Ф-55 и др. Пайка выводов микромодулей производится в определенной последовательности (рис. IX.4).

В условиях серийного производства обычно применяется пайка «погружением», «на волне» и т. п. Для проведения пайки печатную плату с установленными

микромодулями и радиоэлементами закрепляют в специальной технологической рамке установки для пайки. Предварительно монтаж, не подлежащий пайке, защищают маской (на плату временно наносят изоляционный слой специальных тканей, отдельные детали герметизируют специальными технологическими колпачками), а контактные поверхности покрывают флюсом (погружением в жидкий флюс на глубину примерно

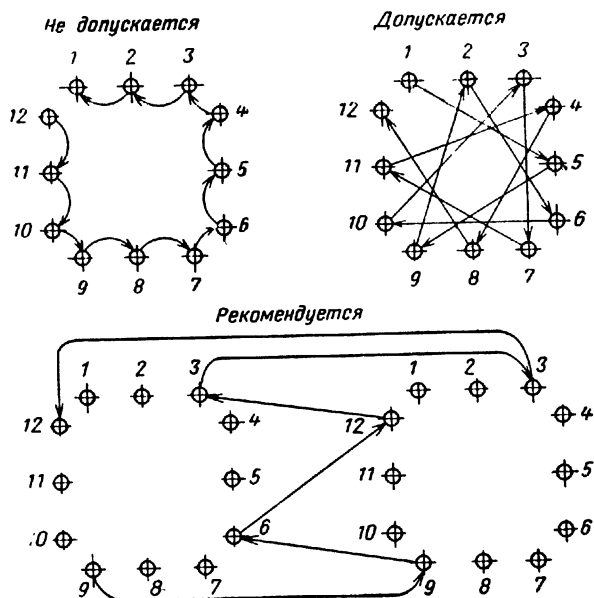


Рис. IX.4. Схема последовательности пайки выводов микромодулей на печатной плате.

0,3 толщины платы) и подсушивают на воздухе в течение 2—3 мин. Затем узел устанавливают над ванной с припоем и погружают в расплавленный припой на глубину также порядка 0,3 толщины платы (в случае пайки погружением).

После этого производят промывку узлов, удаляют нанесенную маску, остатки флюса и загрязнений погружением узлов в горячую воду и просушивают их при температуре 60—70°С в течение 2,5—3 мин, обдувая

очищенным воздухом, не содержащим пыли, загрязнений и т. п. Просушенные узлы извлекают из рамки, проверяют качество сборки и пайки, в случае необходимости производят ручную допайку непропаянных элементов паяльником и укладывают узлы в тару.

При необходимости электрическую схему узлов предварительно настраивают (регулируют) и проверяют на функционирование, а затем передают узлы на испытательный стенд для проведения термотокерной тренировки по режимам, установленным техническими условиями на конкретное изделие.

После проведения тренировки с помощью контрольно-измерительной аппаратуры проводят проверку функционирования узла и соответствия параметров техническим условиям. Результаты проверки заносят в сопроводительный документ. На верхних торцах микромодулей рейсфедером наносят позиционные номера в соответствии с чертежом. Для этого используют маркировочную эпоксидную краску, применяемую в соответствии с существующими нормами.

Проверив качество маркировки, узлы тщательно промывают в ванне со спирто-бензиновой смесью в поле ультразвука и просушивают при температуре 60° С в течение 20—30 мин. Следует отметить, что микромодульные узлы, в состав которых входят электромагнитные реле или кварцы, нельзя обезжировать в поле ультразвука. В таких случаях рекомендуется обезжировать монтаж многократным окунанием в спирто-бензиновую смесь или промывкой кисточкой.

Сушку узлов проводят в специальном сушильном шкафу с установленными терморегуляторами. Просушив и проверив качество промывки, узлы укладывают в полиэтиленовых мешках в тару и передают на участок лакировки. Для получения высокого качества лакировки рекомендуется, чтобы разрыв во времени между промывкой и лакировкой узла не превышал 48 час.

При лакировке необходимо изолировать лепестки контактных колодок и крепежные винты. В качестве изоляторов применяют полихлорвиниловую ленту или специальный лак. Лакировку обычно производят многократно. Лакируют печатную плату узла и верхние торцы микромодулей. Обезжиренные узлы с изолированными деталями

ми лакируют путем погружения их в ванну с лаком до уровня платы. Когда это сделать невозможно, допускается лакирование производить поливом основания платы, наклонив ее на 10—15°, или применяют пульверизатор. Покрытие должно быть равномерным прозрачным, глянцевым, сплошным по всей поверхности, без пузырей и инородных включений, за исключением мест, указанных в чертеже. На лакированных поверхностях не допускаются царапины, трещины, отслаивания.

Контроль качества сушки производят путем наложения на лакированную поверхность ватного тампона с грузом в 200 г на 1 см². По истечении 30 сек груз снимают. Отсутствие на лакированной поверхности приставших ворсинок ваты свидетельствует об окончании сушки покрытия.

После лакировки производят окончательную регулировку на специальном пульте согласно техническим условиям на узлы с использованием контрольно-измерительных приборов, проверяют узел на функционирование и закрепляют специальной краской все головки и выступающие концы регулировочных винтов.

Далее по специальной программе проводят заводские испытания и контрольные испытания узлов с соответствующими отметками в паспорте. Окончательно после проведения испытаний узлы упаковывают в полиэтиленовые мешки, заваривают и укладывают в тару. При длительных сроках хранения в полиэтиленовый мешок вместе с паспортом и узлом укладывают и влагопоглощающий патрон.

IX.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

В состав микромодульных блоков, кроме микромодульных узлов, входят такие детали и элементы конструкции как шасси, объединительные монтажные печатные платы, панели, обрамления, штепсельные разъемы, контрольные гнезда, реле, соединительные колодки, различный крепеж и т. д.

Процесс сборки блоков состоит из последовательности операций, приведенных на рис. IX.5.

Часто при отработке микромодульных блоков необходимо проверить параметры микромодулей под электрической нагрузкой в составе блоков. Выполнить это

в самом блоке трудно и технически сложно. Поэтому для такой проверки используют блок-имитатор, на котором и производят предварительную отработку и настройку блока, регулировку и технологическую тренировку. Порядок сборки блока-имитатора отличается от порядка сборки самого блока только тем, что микромодули устанавливают на печатные платы с помощью специальных панелей (рис. IX.6). Таким образом, на

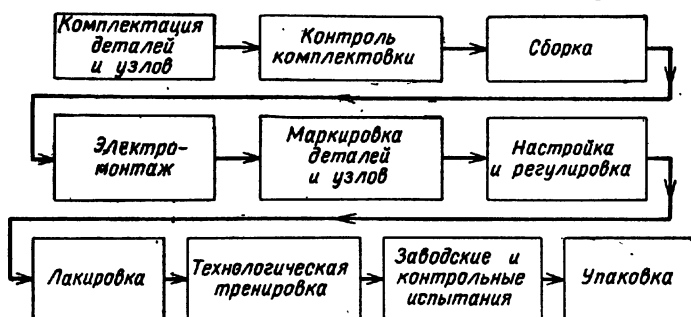


Рис. IX.5. Схема сборки микромодульных блоков.

имитаторах микромодули не припаяны, а соединены с платой с помощью панелей.

После того как блок-имитатор собран в единую функциональную схему, проводят электрическую проверку работы блока в различных режимах, установленных техническими условиями на блок.

Неисправности, возникшие в различных участках электрической цепи, обнаруживаются и устраняются оператором-монтажником.

В процессе настройки, регулировки или эксплуатации микромодульных узлов и блоков может возникнуть необходимость в замене вышедшего из строя микромодуля. Замену дефектных микромодулей можно производить как на лакированной, так и на нелакированной печатной плате. При замене не допускается отслоение печатных проводников, контактных площадок и металлизации монтажных отверстий.

Замена микромодулей на нелакированной печатной плате производится в следующей последовательности. Паяльник со специальным жалом, внутри которого есть полость для отсоса расплавленного припоя, прогревают

в течение 7—10 мин. Температуру жала паяльника устанавливают в пределах 280—290°С. Расплавляя припой отдельно в каждом из 12 монтажных отверстий контактных площадок в течение 3—5 сек, вакуумным насосом производят его отсос через конец жала паяльника.

Рекомендуется выпаивание каждого следующего вывода производить не ранее, чем через 3—4 сек после предыдущего. Аккуратно покачивая микромодуль, не применяя больших усилий, вынимают его из монтажных отверстий печатной платы. Остатки флюса удаляют промывкой спиртом с помощью кисти.

Убедившись в отсутствии отслоений печатных проводников и нарушений металлизации отверстий, устанавливают и распаивают новый микромодуль в соответствии со схемой рис. IX.4.

На лакированной печатной плате микромодуль удаляют, срезая его вместе с подставкой с платы с помощью специального торцевого ключа (рис. IX.7). Оставшиеся на плате выводы микромодуля выправляют пинцетом. Зачистка монтажных отверстий от лака с двух сторон печатной платы осуществляется с помощью специальной полой фрезы (рис. IX.8). Паяльником расплавляют припой в монтажном отверстии и на контактной площадке в течение 3—5 сек и производят отсос припоя через конец жала паяльника, подключив к нему с помощью специальных приспособлений систему от вакуумного насоса. Аналогично производят выпайку остальных 11 выводов, вынимая их из монтажных отверстий с помощью пинцета.

Затем прочищают зенковки монтажных отверстий легким вращательным движением с помощью специаль-

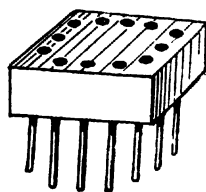


Рис. IX.6. Панель для микромодулей.

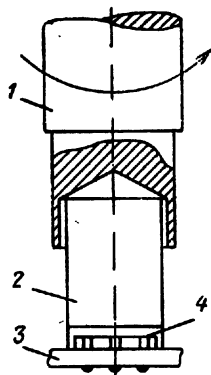


Рис. IX.7. Удаление микромодуля с печатной платы с помощью торцевого ключа:

1 — головка торцевого ключа на микромодуле; 2 — микромодуль; 3 — печатная плата; 4 — микромодульная подставка.

ной шаровидной фрезы (шарошки). Очистив узел от пыли и остатков разрушенного лака обдувкой сухим воздухом и убедившись в отсутствии отслоений печатных проводников и нарушений металлизации отверстий,

производят установку и пайку нового модуля.

В тех случаях, когда микромодули установлены на плате с большой плотностью и срезать их с помощью торцевого ключа невозможно, применяется иная методика замены микромодулей на платах.

С обратной стороны, в том месте, где предстоит произвести замену микромодуля, осторожно, не повреждая элементов печатного монтажа, с помощью специальной торцевой фрезы производят зачистку контактной площадки и монтажных отверстий от лака. К зачищенным контактным площадкам снизу подводят специальный паяльник, который одновременно расплавляет припой во всех 12 отверстиях. (Рас-

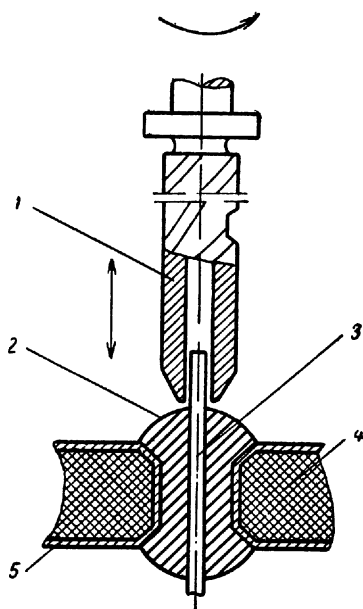


Рис. IX.8. Зачистка монтажного отверстия печатной платы с помощью полый фрезы:

1 — фреза; 2 — припой; 3 — впаянный отрезок вывода микромодуля; 4 — печатная плата; 5 — металлизация отверстия.

мощью флюсов марок ТС-1, ФПП и др.). Через специальное предусмотренное для этого в плате центральное отверстие, расположенное внутри контактной микромодульной площадки, микромодуль выталкивают специальным толкателем. Расплавленный припой отсасывают с помощью приспособления, соединенного с вакуумным насосом.

После установки и запайки нового микромодуля с помощью волосяных кисточек промывают и обезжиривают места перепаяек, используя спирто-бензиновую

смесь. Просушивают промытые места 10—15 *мин* на воздухе и производят подлакировку платы с двух сторон. После лакировки платы с микромодулями ставят на сушку под вытяжкой. Следует отметить, что при отслаивании контактных площадок и печатных проводников допускается печатный проводник заменять объемной перемычкой. Если эта перемычка длинная, то ее прикрепляют к плате клеем.

НАДЕЖНОСТЬ МИКРОМОДУЛЕЙ

X.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ
ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Внедрение микромодулей в радиоэлектронную аппаратуру при одновременном снижении ее веса и габаритов повышает надежность аппаратуры.

Как известно, под надежностью* изделия понимается способность данного изделия выполнять свои функции в течение заданного промежутка времени при заданных условиях эксплуатации. Количественно надежность выражается вероятностью безотказной работы изделия в течение данного периода времени при данных условиях эксплуатации.

Понятием, противоположным надежности, является понятие ненадежности, которое определяется как вероятность отказа в течение заданного времени работы. (Отказ — это частичная или полная утрата таких свойств изделия, которые определяют его работоспособность.)

Теория надежности все изделия разделяет на два класса: восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

Этажерочные микромодули относятся к невосстанавливаемым, т. е. к неремонтируемым изделиям, так как после герметизации представляют собой монолитное тело. При отказе микромодулей в блоках радиоэлектронной аппаратуры неисправные микромодули заменяются на исправные. Таким образом, несмотря на то, что микромодули являются конструкциями, состоящими из нескольких элементов, с точки зрения теории надежно-

* Здесь и далее используется терминология, рекомендованная АН СССР.

сти их можно рассматривать как отдельные элементы радиоэлектронной аппаратуры.

Как показывает практика, для микромодулей характерны 3 типа отказов:

- приработочные — отказы раннего периода эксплуатации, определяемые в большинстве случаев несовершенной технологией производства и плохим контролем качества микроэлементов и микромодулей при их изготовлении;

- износосвые — отказы, вызываемые износом отдельных частей микромодуля;

- внезапные — отказы, возникающие вследствие внезапного увеличения нагрузок, превышающих предельно допустимую нагрузку.

Каждый тип отказа определяется своим периодом проявления и характеризуется своим особым статистическим распределением и поэтому требует различной математической обработки. Для устранения каждого типа отказов применяются различные методы.

Приработочные отказы могут быть исключены путем отбраковки и приработки. Процесс отбраковки заключается в том, что микромодули помещают в такие условия, при которых наиболее быстро выявляются потенциально ненадежные элементы (повышенные температура и нагрузка, термоциклы и т. п.). Процесс приработки заключается в том, что собранные на микромодулях блоки аппаратуры в течение некоторого времени работают в условиях, близких к условиям эксплуатации. Вышедшие из строя микромодули в процессе приработки заменяются.

Износосвые отказы микромодулей для радиоэлектронной аппаратуры существенного значения не имеют, так как явления старения и износа, как показала исследования, не наблюдались до 10 000 час наработки. Кроме того, в большинстве случаев отказы за счет износа могут быть предотвращены путем замены микромодулей или целых блоков аппаратуры через определенное время.

Наиболее опасными для микромодульной радиоэлектронной аппаратуры являются внезапные отказы микромодулей. Внезапные отказы — случайные события, следовательно, они подчиняются определенным общим

закономерностям теории вероятностей. В связи с этим основным средством исследования вопросов надежности микромодулей является теория вероятностей, а основным методом — статистический метод.

Х.2. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ МИКРОМОДУЛЕЙ

Вероятность безотказной работы. Надежность микромодулей выражается вероятностью их безотказной работы в течение заданного периода времени в определенных условиях эксплуатации и определяется как вероятность того, что время безотказной работы микромодуля T будет больше некоторого заданного времени t :

$$P(t) = P\{T > t\}. \quad (\text{X.1})$$

На практике пользуются приближенным значением этого показателя, определяемым статистически, как отношение числа микромодулей, годных в момент времени t , к первоначальному количеству микромодулей, поставленных на испытания (находящихся в эксплуатации):

$$P_s(t) = \frac{N_0 - m(t)}{N_0} = 1 - \frac{m(t)}{N_0}, \quad (\text{X.2})$$

где $P_s(t)$ — статистическая вероятность безотказной работы;

N_0 — первоначальное количество микромодулей, поставленных на испытания;

$m(t)$ — количество отказавших микромодулей к моменту времени t .

При неограниченном увеличении числа опытов статистическая вероятность приближается к математической.

Вероятность отказа. Вероятность отказа выражается как

$$q(t) = P\{T \leq t\} = 1 - P(t). \quad (\text{X.3})$$

Это соотношение представляет функцию распределения случайной величины T и называется интегральным законом распределения.

Функция распределения — неубывающая функция своего аргумента, т. е. при любом $t_2 > t_1$ величина

$q(t_2) > q(t_1)$. При $t=0$ $q(t)=0$, при $t \rightarrow \infty$ $q(t) \rightarrow 1$, т. е. вероятность отказа становится достоверным событием при неограниченном увеличении времени работы микро модуля.

Статистическая вероятность отказа определяется по формуле

$$q_s(t) = \frac{m(t)}{N_0}. \quad (\text{X.4})$$

Дифференциал функции распределения является плотностью распределения времени безотказной работы (дифференциальный закон распределения) и определяется выражением

$$\frac{dq}{dt} = f(t). \quad (\text{X.5})$$

Интенсивность отказов. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяется отношением приращения числа отказов $dm(t)$ за интервал времени от t до $t+dt$ к количеству остающихся к рассматриваемому интервалу времени исправных микро модулей $N_{\text{н}}(t) = N_0 - m(t)$

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_{\text{н}}(t)} \frac{dm(t)}{dt}. \quad (\text{X.6})$$

Статистическим значением интенсивности отказов является отношение числа отказавших в единицу времени микро модулей Δm к числу микро модулей $N_{\text{н}}(t)$, которые оставались исправными к рассматриваемому интервалу времени Δt :

$$\lambda_s(t) = \frac{\Delta m}{N_{\text{н}}(t) \Delta t}. \quad (\text{X.7})$$

Среднее время безотказной работы (наработка до отказа). Среднее время безотказной работы $T_{\text{ср}}$ определяется как математическое ожидание времени безотказной работы

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (\text{X.8})$$

Статистически среднее время безотказной работы микро модулей определяется как отношение суммарного

времени наработки каждого из них до появления отказа к общему числу наблюдаемых микромодулей:

$$T_{\text{ср } s} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (\text{X.9})$$

где t_i — время наработки до отказа i -го микромодуля.

Взаимосвязь показателей надежности микромодулей. Взаимосвязь между функциями $f(t)$, $\lambda(t)$ и $P(t)$ описывается формулой

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (\text{X.10})$$

Подставляя в формулу (X.10) $f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}$, получим

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt}. \quad (\text{X.11})$$

Интегрируя уравнение (X.11), получим

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (\text{X.12})$$

Это соотношение является общим законом надежности.

Доверительные границы. Статистические оценки показателей надежности микромодулей, полученные в процессе испытаний, приближаются к истинным значениям по мере увеличения объема испытаний. Только бесконечно большая партия испытанных изделий может дать 100%-ную уверенность в том, что оценка совпадает с истинным значением определяемой величины. Поэтому для оценки степени доверия к результатам, полученным в процессе испытаний, вводится понятие доверительной вероятности α . Обычно доверительную вероятность выбирают близкой к единице (0,8; 0,9 и в особо важных случаях 0,99).

При определении интенсивности отказов микромодулей целесообразно определять не только среднее значе-

ние интенсивности отказов, а также и интервал, внутри которого с заданной вероятностью лежит истинное значение λ .

Так вводится понятие доверительных границ $\lambda_{\text{в}}$ и $\lambda_{\text{н}}$, которые могут быть односторонними и двухсторонними. В том случае, когда представляет интерес только верхняя доверительная граница (односторонняя граница),

$$\text{Вер}(\lambda \leq \lambda_{\text{в}}) = \alpha, \quad (\text{X.13})$$

$$\text{Вер}(\lambda > \lambda_{\text{в}}) = 1 - \alpha.$$

В случае двухсторонних границ определяются и верхняя и нижняя границы:

$$\text{Вер}(\lambda > \lambda_{\text{в}}) = 1 - \alpha,$$

$$\text{Вер}(\lambda_{\text{н}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{в}}) = \alpha', \quad (\text{X.14})$$

$$\text{Вер}(\lambda < \lambda_{\text{н}}) = 1 - \alpha.$$

Двухсторонняя доверительная вероятность α' рассчитывается по формуле

$$\alpha' = 2\alpha - 1. \quad (\text{X.15})$$

На рис. X.1 приведен график изменения доверительных границ от двухсторонней доверительной вероятности α' для определенного значения $\lambda_{\text{ср}}$. Как видно из рисунка, с увеличением доверительной вероятности границы $\lambda_{\text{в}}$ и $\lambda_{\text{н}}$ расширяются. Ширина этих пределов зависит от числа отказов m : чем больше отказов, тем уже границы между $\lambda_{\text{в}}$ и $\lambda_{\text{н}}$.

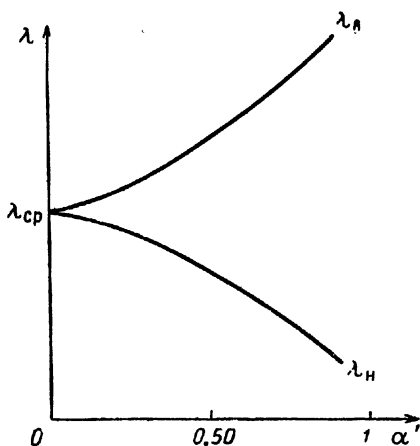


Рис. X.1. Изменение доверительных границ от двухсторонней доверительной вероятности.

Доверительные границы интенсивности отказов рассчитываются по формулам:
в случае m отказов микромодулей

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{r_1}, \quad (\text{X.16})$$

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{r_2}; \quad (\text{X.17})$$

при нуле отказов

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{r_0}{Nt_{\text{н}}}. \quad (\text{X.18})$$

Коэффициенты r_0 , r_1 , r_2 берутся из таблиц [15, приложение 19] по количеству отказов m и доверительной вероятности α .

Х.3. ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ МИКРОМОДУЛЕЙ

Возникновение внезапных отказов в процессе испытаний (эксплуатации) радиоэлектронной аппаратуры является случайным событием. Последовательность событий, которые происходят одно за другим в случайные моменты времени, называется потоком случайных событий. В теории надежности наибольшее теоретическое и практическое значение имеет так называемый простейший поток.

Простейшим потоком случайных событий называется такой поток, который удовлетворяет следующим условиям:

— поток должен быть стационарным, т. е. вероятность возникновения определенного числа событий за интервал длительности Δt не зависит от того, где располагается на оси времени t этот интервал, а зависит только от длительности интервала;

— в потоке отсутствует последствие, т. е. характер «протекания» потока событий после любого момента времени не зависит от того, как «протекал» поток до этого момента;

— поток должен быть ординарным, т. е. за небольшой промежуток времени мало вероятно появление двух и более отказов.

Доказано [17], что:

1. Если поток событий является простейшим, то он описывается распределением Пуассона с параметром распределения $\lambda(t) = \text{const}$

$$P_m(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t}, \quad (\text{X.19})$$

где m — число отказов;

(λt) — математическое ожидание числа отказов за время t .

2. Если имеются две независимые случайные величины, каждая из которых распределена по закону Пуассона, то сумма их также распределена по закону Пуассона.

3. Дисперсия случайной величины m , распределенной по закону Пуассона, равна математическому ожиданию этой величины, т. е.

$$D[m] = M[m], \quad (\text{X.20})$$

где $M[m]$ — математическое ожидание числа отказов;

$D[m]$ — дисперсия числа отказов.

Соотношение (X.20) используется на практике для определения соответствия потока отказов изделий при испытаниях (эксплуатации) простейшему потоку.

Рассматривая распределение Пуассона для случая $m=0$, получаем формулу вероятности безотказной работы изделий за время t

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (\text{X.21})$$

Плотность распределения соответственно равна

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (\text{X.22})$$

Закономерность, определяемая формулами (X.21), (X.22) при $t \geq 0$, получила название экспоненциального закона распределения.

В общем случае поток отказов микромодулей не удовлетворяет условиям простейшего потока, так как в начальный период работы микромодулей наблюдается повышенная интенсивность отказов, причем $\lambda(t) \neq \text{const}$.

В последующий период наблюдается стационарность потока отказов, когда $\lambda(t) = \text{const}$.

Вероятность безотказной работы микромодулей для этих периодов выражается формулой общего закона надежности:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\left[\int_0^{t_0} \lambda_2(t) dt + \int_{t_0}^t \lambda_1(t) dt\right]} = e^{-\int_0^{t_0} \lambda_2(t) dt} e^{-\int_{t_0}^t \lambda_1(t) dt} \quad (\text{X.23})$$

В интервале времени от 0 до t_0 интенсивность отказов $\lambda(t) \neq \text{const}$, а в интервале от t_0 до t величина $\lambda(t) = \text{const}$.

Если микромодули в процессе производственного изготовления подвергаются тренировке для исключения периода повышенной интенсивности отказов (0— t_0), вероятность безотказной работы их выражается формулой

$$P(t) = e^{-\int_{t_0}^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda(t-t_0)} = e^{-\lambda t}, \quad (\text{X.24})$$

т. е. начало отсчета времени на оси времени переносится в точку t_0 . Таким образом, полученная формула совпадает с формулой (X.21).

Простейший поток может служить приближенной физической моделью для потока внезапных отказов микромодулей. Характер из-

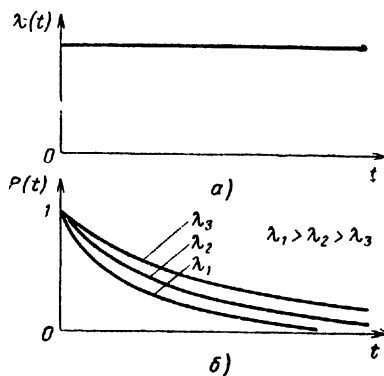


Рис. X.2. Изменение интенсивности отказов микромодулей во времени (а) и вероятности безотказной работы во времени для экспоненциального закона (б).

менения интенсивности отказов микромодулей, а также график изменения вероятности безотказной работы во времени для экспоненциального закона представлены на рис. X.2. Чем выше интенсивность отказов микромодулей, тем быстрее величина $P(t)$ стремится к нулю. Как показывают многочисленные опыты, экспоненциальный закон справедлив только в случае отсутствия явлений старения и износа ($\lambda = \text{const}$).

Для экспоненциального закона распределения:

— математическое ожидание случайной величины $T_{\text{ср}}$ выражается формулой

$$M[T_{\text{ср}}] = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} = T_{\text{ср}} \quad (\text{X.25})$$

и применяется как показатель надежности микромодулей, представляя среднее время безотказной работы;

— дисперсия

$$D[T_{\text{ср}}] = \frac{1}{\lambda^2}; \quad (\text{X.26})$$

— среднее квадратическое

$$\sigma[T_{\text{ср}}] = \frac{1}{\lambda} = M[T_{\text{ср}}]. \quad (\text{X.27})$$

Статистические значения $M_s[T_{\text{ср}}]$, $D_s[T_{\text{ср}}]$, $\sigma_s[T_{\text{ср}}]$ определяются по формулам:

$$M_s[T_{\text{ср}}] = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0} = T_{\text{ср}}, \quad (\text{X.28})$$

$$D_s[T_{\text{ср}}] = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} (t_i - T_{\text{ср}})^2}{N_0 - 1}, \quad (\text{X.29})$$

$$\sigma_s[T_{\text{ср}}] = \sqrt{D_s[T_{\text{ср}}]}. \quad (\text{X.30})$$

Поскольку доказано, что для экспоненциального закона математическое ожидание численно равно среднему квадратическому отклонению, то равенство или близость статистических значений $M_s[T_{\text{ср}}]$ и $\sigma_s[T_{\text{ср}}]$, полу-

чаемых на практике, может служить основанием для принятия, в расчетах среднего времени безотказной работы микромодулей экспоненциального закона распределения.

Х.4. ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОМОДУЛЕЙ

Как показывает практика, большинство выходных параметров микромодулей распределяется по нормальному закону.

Нормальный закон характеризуется плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M[x])^2}{2\sigma^2}}, \quad (\text{X.31})$$

где x — случайная величина (параметр микромодуля);

$M[x]$ — математическое ожидание случайной величины;

σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины от ее математического ожидания.

Здесь $M[x]$ и σ являются параметрами нормального распределения.

Кривая распределения при нормальном законе имеет симметричный колоколообразный вид (рис. X.3). Максимальная ордината кривой, равная $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$, соответствует точке $x=M[x]$ и является осью симметрии; при изме-

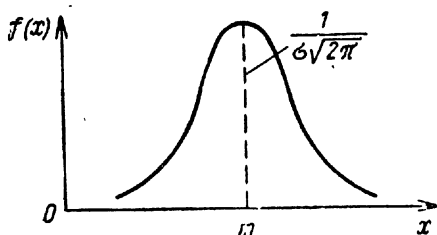


Рис. X.3. График нормального закона распределения.

нении знака разности $x-M[x]$ на обратный выражение (X.31) не изменяется. Абсцисса $x=M[x]=t$ называется центром распределения. По мере удаления от этой точки плотность распределения падает и при $x \rightarrow \pm \infty$ кривая асимптотически приближается к оси абсцисс. Если меняется величина математического ожидания $M[x]$, то

это соответствует перемещению центра распределения вдоль оси. При этом форма кривой не изменяется.

Таким образом, первый параметр нормального закона $M[x]$ определяет положение распределения на оси абсцисс. Второй параметр σ характеризует форму кривой распределения и называется характеристикой рассеивания.

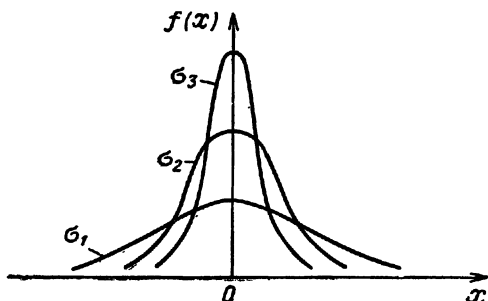


Рис. X.4. Влияние величины σ на кривые распределения ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

Наибольшая ордината кривой распределения обратно пропорциональна σ . Площадь, охватываемая кривой, всегда равна единице. Поэтому при увеличении σ максимальная ордината уменьшается и кривая становится более плоской, растягивается вдоль оси абсцисс. И, наоборот, при уменьшении σ максимальная ордината возрастает, а кривая сужается, принимая иглообразную форму (рис. X.4).

От выражения плотности вероятности (X.31) можно перейти к выражению функции распределения

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_{-\infty}^x f(x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M[x])^2}{2\sigma^2}} dx. \end{aligned} \quad (X.32)$$

Введя обозначение

$$z = \frac{x - M[x]}{\sigma \sqrt{2}},$$

получим

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-z^2} dz = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-z^2} dz + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz. \quad (\text{X.33})$$

В этом выражении

$$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-z^2} dz = \frac{1}{2}. \quad (\text{X.34})$$

поэтому

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz. \quad (\text{X.35})$$

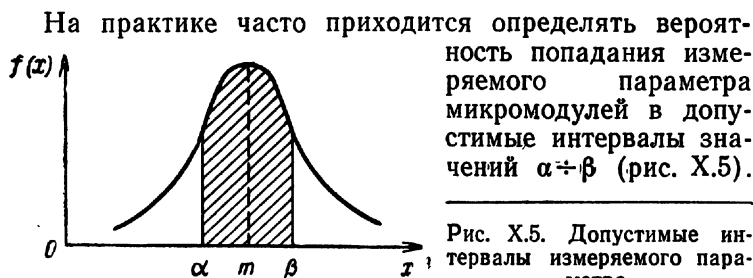
Из теории вероятностей [13] известно, что интеграл типа

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz = \Phi(z) \quad (\text{X.36})$$

называется функцией Лапласа или интегралом вероятности и определяется из таблиц [13].

Таким образом, функция распределения при нормальном законе выражается формулой

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi(z) = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi\left(\frac{x - M[x]}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]. \quad (\text{X.37})$$



ность попадания измеряемого параметра микромодулей в допустимые интервалы значений $\alpha \div \beta$ (рис. X.5).

Рис. X.5. Допустимые интервалы измеряемого параметра.

Эта задача решается при помощи функции Лапласа:

$$P(\alpha < x < \beta) = F(\beta) - F(\alpha) = \\ = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{\beta - m_s}{\sigma_s \sqrt{2}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - m_s}{\sigma_s \sqrt{2}}\right) \right], \quad (\text{X.38})$$

где m_s — статистическое значение математической величины, определяемое формулой

$$m_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (n — \text{число измерений}); \quad (\text{X.39})$$

σ_s — статистическое значение среднеквадратического отклонения случайной величины

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_s)^2}{n - 1}}. \quad (\text{X.40})$$

С другой стороны, если из опыта известны m_s и σ_s , то с точностью до долей процента можно определить размах возможных значений параметров микромодулей контролируемой партии, из которой была взята выборка. Для этого обычно пользуются соотношением

$$m_s - 3\sigma_s < x < m_s + 3\sigma_s. \quad (\text{X.41})$$

Многочисленные опыты показывают, что в период старения или изнашивания радиоэлементов, т. е. при постепенных отказах, достаточно хорошие результаты при расчетах надежности дает применение нормального распределения [17].

Если $T_{\text{оп}}$ — среднее время безотказной работы по постепенным отказам и $\sigma \ll T_{\text{оп}}$, то плотность распределения времени безотказной работы T имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t - T_{\text{оп}})^2}{2\sigma^2}}. \quad (\text{X.42})$$

В настоящее время для микромодулей эта формула экспериментально не подтверждена, так как ввиду весьма длительного периода нормальной эксплуатации микромодулей (10 000 час и более) пока еще не получено достаточного материала для определения закона распределения вероятности безотказной работы микромодулей по постепенным отказам.

Однако, поскольку микромодули состоят из микроэлементов, подчиняющихся тем же законам старения и износа, что и элементы в обычном исполнении, можно предпологать, что формула плотности распределения времени безотказной работы по постепенным отказам (X.42) справедлива и для микромодулей.

Х.5. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ МИКРОМОДУЛЕЙ

Надежность микромодулей зависит от большого числа различных факторов, которые могут быть разделены на три основные группы: конструктивные, производственно-технологические, эксплуатационные.

Конструктивные факторы

С позиции обеспечения максимально возможной надежности микромодулей на стадии их разработки конструктор (разработчик) должен обращать особое внимание на:

- выбор наиболее надежных микроэлементов;
- обеспечение правильного применения микроэлементов в схеме микромодуля и, в первую очередь, на правильный выбор электрических и тепловых режимов элементов;
- выбор схем, наименее критичных к воздействию возможных электрических, механических и климатических факторов;
- правильную формулировку соответствующих разделов технических условий на микромодули.

Технически обоснованное решение разработчиком перечисленных выше вопросов является основой для создания надежных микромодулей.

При разработке микромодулей требуемого назначения возможны различные варианты схем, обеспечивающие заданные характеристики. Для выбора того или

инного варианта конструктор должен произвести предварительный анализ надежности всех возможных вариантов и выбрать тот, который при выполнении заданных требований по основным характеристикам может обеспечить наибольшую надежность.

Особенно важное значение на стадии разработки микромодулей имеет правильный выбор рабочего режима микроэлементов, определяемого степенью электрической нагрузки.

Степень нагрузки микроэлементов в электрической схеме микромодуля характеризуется коэффициентом нагрузки, который определяется как отношение рабочей нагрузки (H_p), действующей на элемент в схеме, к номинальному значению нагрузки ($H_{ном}$), предусмотренному техническими условиями ТУ на микроэлемент:

$$k_n = \frac{H_p}{H_{ном}}. \quad (X.43)$$

Так, например, коэффициент нагрузки резисторов равен

$$k_n = \frac{P_{рас}}{P_{ном}}, \quad (X.44)$$

где $P_{рас}$ — рассеиваемая мощность;

$P_{ном}$ — номинальная мощность.

Коэффициент нагрузки конденсаторов равен

$$k_n = \frac{U_p}{U_{ном}}, \quad (X.45)$$

где U_p — напряжение, приложенное к конденсатору в схеме микромодуля;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение.

Коэффициент нагрузки полупроводниковых диодов определяется как по выпрямленному току, так и по обратному напряжению:

$$k_{нI} = \frac{I_p}{I_{доп}}, \quad k_{нU} = \frac{U_{обр\ p}}{U_{доп}}, \quad (X.46)$$

где I_p — выпрямленный ток в рабочем режиме;
 $U_{обр\ p}$ — обратное напряжение в рабочем режиме;

$I_{\text{доп}}$ и $U_{\text{доп}}$ — допустимые значения тока и напряжения по ТУ.

Коэффициент нагрузки транзисторов определяется отношением фактической мощности (P_p), рассеиваемой на переходах, к допустимой по ТУ ($P_{\text{доп}}$):

$$k_n = \frac{P_p}{P_{\text{доп}}}. \quad (\text{X.47})$$

Как показывает опыт эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры, увеличение коэффициента нагрузки до значений, близких к единице и выше, приводит к резкому увеличению интенсивности отказов элементов и, наоборот, уменьшение коэффициента нагрузки значительно повышает их время безотказной работы. Например, уменьшение коэффициента нагрузки микродиодов с 1 до 0,2 снижает интенсивность отказов их примерно на порядок, при таком же изменении коэффициента нагрузки микротранзисторов интенсивность отказов их снижается примерно в 5 раз.

Особенно большое внимание при выборе коэффициентов нагрузки микроэлементов в схемах микромодулей следует уделять при разработке микромодулей, предназначенных для работы в условиях повышенных температур окружающей среды, так как за счет мощности рассеяния создается перегрев и условия работы микроэлементов значительно ухудшаются.

Тепловые характеристики одиночного микромодуля при температуре окружающей среды $+20^\circ\text{C}$ приведены в табл. X.1.

Как видно из таблицы, чтобы снизить температуру перегрева микроэлементов относительно температуры

ТАБЛИЦА X.1

Высота микромодуля, мм	Поверхность, микромодуля, см ²	Подводимая мощность, Вт	Температура в центре микромодуля, °C
12	8,7	0,25	33
		0,5	46
		0,75	63
		1,0	81
20	11,2	0,25	27
		0,5	40
		0,75	56
		1,0	76

окружающей среды, необходимо стремиться к возможно меньшим коэффициентам нагрузки.

И, наконец, в вопросе обеспечения надежности микромодулей на стадии проектирования немаловажную роль играет правильное составление технических условий в части определения требований на номиналы и допуски выходных параметров микромодулей, количественные показатели их надежности, в части выбора правильных критериев оценки надежности. Чем шире заданные пределы допусков, тем длительнее период, в течение которого микромодули могут нормально функционировать, т. е. тем позднее произойдет отказ из-за ухода параметров за допустимые пределы.

Кроме того, в технических условиях должны быть достаточно ясно и точно сформулированы условия и методики определения параметров микромодулей. Практика показывает, что неполноценность методик затрудняет изготовление микромодулей, соответствующих требованиям ТУ, даже при жестких нормах на выходные параметры. И наоборот, правильно составленная методика позволяет без лишних затруднений обеспечить выполнение достаточно строгих норм на выходные параметры. Чем полнее осуществляется проверка входных и выходных параметров микромодулей и рабочих режимов входящих в них микроэлементов, тем разработчик может быть более уверенным в получении достаточной эксплуатационной надежности.

Производственно-технологические факторы

Производственно-технологические факторы в значительной мере определяют производственную и эксплуатационную надежность микромодулей.

Поступающие к потребителям микроэлементы с недостаточной эксплуатационной надежностью можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся микроэлементы, изготовленные с нарушением технологии производства и не выявленные на выходном контроле, ко второй — микроэлементы, долгое время находящиеся на складах в режиме хранения, результатом которого является ухудшение параметров за счет старения материалов и деталей.

Некачественные (дефектные) микроэлементы первой группы являются, как правило, причиной внезапных отказов микромодулей. Дефектные микроэлементы второй группы вызывают постепенные (параметрические) отказы микромодулей, которые начинают проявляться в аппаратуре намного раньше, чем могло бы быть это при микроэлементах с неиспользованным сроком хранения.

Отбраковка на входном контроле дефектных микроэлементов дает возможность повысить надежность микромодулей.

Очень важную роль с точки зрения обеспечения надежности играет операция сборки микромодулей. При небрежном выполнении сборки возможны порча микроэлементов, появление сколов и трещин в платах микроэлементов, а также их загрязнение. Все это в конечном итоге приводит к явному или неявному производственному браку, причем последний наиболее опасен, так как является причиной внезапных отказов микромодулей на различных стадиях их эксплуатации.

Не менее важное значение имеет операция пайки микромодулей. Каждая недоброкачественная пайка — это потенциальный отказ в условиях эксплуатации микромодулей из-за нарушения контакта. С целью максимального снижения отказов микромодулей по причине некачественных сборки и пайки в процессе сборочно-монтажных работ производится технический контроль качества выполнения этих операций путем визуального осмотра при помощи оптических средств, а также путем контроля электрических соединений. Кроме того, повышению качества и надежности микромодулей способствует введение в технологический процесс средств механизации и автоматизации этих операций.

Не менее важное значение имеют такие производственные факторы, как квалификация рабочих и инженерно-технических работников и хорошо поставленная информация непосредственных исполнителей о систематических отказах по вине производства.

Эксплуатационные факторы

Отказы микромодулей в период эксплуатации являются следствием нарушения правил эксплуатации и воз-

действия внешних факторов, свойственных нормальной эксплуатации.

Отказы микромодулей, вызванные неправильной эксплуатацией, не определяют истинной надежности микромодулей, так как любое весьма надежное изделие может быть приведено в негодность из-за неправильного обращения с ним. Во избежание отказов по этой причине необходимо тщательно обрабатывать эксплуатационную техническую документацию и проводить регулярный инструктаж персонала, обслуживающего радиоэлектронную аппаратуру в микромодульном исполнении.

Устойчивость микромодулей к воздействию эксплуатационных факторов закладывается уже на стадии их проектирования. К этим факторам относятся климатические и биологические факторы, различные виды механических воздействий, электрическая нагрузка.

Климатические факторы. Влияние высоких температур сказывается на ускорении процессов старения; более форсированно протекают процессы разложения органических материалов. Характеристики радиодеталей вследствие этого в значительной мере изменяются.

Влияние тепла на элементы радиоэлектронной аппаратуры вызывает внезапные отказы, сокращает срок службы изделий, способствует возникновению временных физических изменений материалов, приводящих к временным изменениям параметров радиоэлементов, а также к возникновению устойчивых физических или химических изменений материалов, приводящих к устойчивому изменению параметров радиоэлементов.

При длительном воздействии высоких температур изменения выходных параметров радиодеталей могут стать весьма значительными и чем выше температура, тем с большей скоростью происходят эти изменения, пока не наступит преждевременный отказ.

Влияние низких температур на радиоэлементы проявляется также в изменении их выходных параметров вследствие изменения физических свойств исходных материалов. Кроме того, воздействие низких температур в ряде случаев вызывает внезапные отказы, причиной которых, как правило, являются различные температурные коэффициенты контактирующих между собой материалов.

Влияние пониженного атмосферного давления на элементы радиоэлектронной аппаратуры проявляется в уменьшении величины пробивного напряжения и ухудшении условий отвода тепла от микромодулей.

Наличие влаги на поверхности изоляционных материалов уменьшает их поверхностное сопротивление. При высокой относительной влажности поверхности большинства материалов очень быстро смачиваются. Только немногие материалы, такие как полистирол, кремний-органические материалы и некоторые полимеры, могут успешно противостоять образованию водной пленки. Кроме поверхностного увлажнения влага, просачиваясь внутрь материала через мельчайшие поры, уменьшает его объемное сопротивление.

Скорость, с которой материал впитывает влагу, зависит от содержания воды в атмосфере, от распространения влаги по поверхности материала и от гигроскопичности этого материала. Большинство видов стекла, полистирол, полиэтилен и некоторые другие полимеры плохо поглощают влагу.

Биологические факторы. Одним из конечных результатов воздействия влаги является рост плесени. Грибковая плесень по внешнему виду напоминает волокна хлопка различной окраски: зеленой, желтой, голубой или коричнево-серой. При снятии ее с поверхности материала плесень превращается в пыль, состоящую из мельчайших частичек — спор. Эти споры настолько малы и легки, что они постоянно находятся во взвешенном состоянии в воздухе и при попадании в благоприятную среду начинают быстро прорастать. При воздействии грибков плесени происходит ухудшение поверхности изделий, улучшается ее смачиваемость, а следовательно, ухудшаются электрические свойства изделий из-за уменьшения сопротивления изоляции.

Влияние механических воздействий. К основным механическим воздействиям относятся удары и вибрации.

Удар возникает при внезапном приложении силы к рассматриваемой конструкции. Под действием удара возникает вибрация конструкции на всех ее собственных частотах. При большой величине удара может возникнуть поломка деталей из хрупких материалов и текучесть вязких материалов.

Вибрация — это непрерывное периодическое знакопеременное движение, возникающее под действием колебательной возбуждающей силы. Эффективность воздействия вибрации на конструкцию зависит от величины амплитуды колебаний и от близости частоты этих колебаний к собственным частотам изделия. Длительное воздействие вибрации приводит к ослаблению прочности конструкции и, как следствие, к появлению внезапных отказов.

Влияние электрической нагрузки на радиоэлементы в некоторой степени аналогично влиянию повышенных температур, так как действие электрической нагрузки сопровождается, как правило, выделением тепла.

Как следует из опыта эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры, примерно 30% всех отказов аппаратуры падает на долю эксплуатационных факторов. Микро модули в силу своего конструктивного оформления весьма устойчивы к таким видам воздействий, как вибрация, удары, линейные перегрузки, роса, иней, туман, плесень.

Наиболее существенное влияние на надежность микромодулей оказывает воздействие температур, особенно повышенных, и циклическое изменение температуры. Влияние на микромодули повышенных температур, как указывалось выше, приводит к ускорению процессов старения и износа, а следовательно, к повышению интенсивности постепенных и полных отказов. В связи с этим конструкторами аппаратуры принимаются меры по облегчению температурных режимов микромодулей в блоках (выбор оптимального шага расположения микромодулей, отвод тепла, принудительное охлаждение, обеспечение малых коэффициентов нагрузки и т. п.).

Циклическое воздействие тепла и холода приводит к «расшатыванию контактов» за счет различных коэффициентов линейного и объемного расширения контактируемых материалов. Для микромодулей это явление имеет еще большее значение, так как герметизация микромодулей производится компаундом, имеющим хорошие адгезионные свойства с материалами, из которых изготавливаются микроэлементы, в связи с чем на прочность контактных соединений дополнительно сказывается влияние со стороны компаунда. Снижение эффективности воздействия на микромодули резких температур-

ных перепадов может быть достигнуто применением ряда специальных конструктивных приемов при создании конструкций микромодульных узлов и блоков аппаратуры (термостатирование, увеличение температурной постоянной времени, применение демпфирующего покрытия для микроэлементов и т. п.).

Х.6. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МИКРОМОДУЛЕЙ

Г р а н и ч н ы е и с п ы т а н и я

При разработке микромодулей, исходя из условий согласования микромодулей по входу и выходу со смежными узлами и элементами аппаратуры, устанавливаются номиналы и допуски на выходные параметры микромодулей. Однако выходные параметры микромодулей зависят от изменения питающих напряжений, от колебания окружающей температуры и влажности воздуха, а также от изменения параметров микроэлементов от времени. Для правильного выбора микроэлементов и правильного определения номиналов и допусков на выходные параметры микромодулей на стадии их разработки целесообразно применять метод граничных (матричных) испытаний.

Задачей этого метода является экспериментальное определение области безотказной работы микромодулей при возможных изменениях параметров комплектующих изделий и эксплуатационных условий.

Метод матричных испытаний заключается в построении некоторой области в многомерном пространстве, внутри и на границах которой функция принимает значения, соответствующие заданной величине

$$X = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n),$$

где X — значение выходного параметра, соответствующее случаю безотказной работы микромодуля;
 x_i — значение i -го параметра (воздействующего фактора), оказывающего влияние на выходной параметр микромодуля.

Для определения n -мерной области необходимы специальные весьма сложные автоматические устройства. Поэтому в практике часто пользуются методом гранич-

ных испытаний, который сводится к определению граничных точек области безотказной работы микромодуля при изменении одного параметра (воздействующего фактора) и сохранении других неизменными.

Реализация этого метода проста. Для этого вместо постоянных элементов исследуемой схемы (резисторы, конденсаторы и др.) ставятся переменные или они последовательно заменяются на специально подобранные с крайними допусками. Затем определяется параметр граничных испытаний (например, одно из питающих напряжений). Границы области, в пределах которой микромодуль работает безотказно, определяются при изменении параметра граничных испытаний до момента ухода выходного параметра микромодуля за допустимые нормы. Затем при некотором отклонении одного из «переменных» параметров схемы от номинального значения снова производится наблюдение за изменением выходного параметра микромодуля при изменении параметра граничных испытаний, фиксируя моменты ухода выходного параметра за установленный допуск. Результаты граничных испытаний оформляются в виде графика зависимости

$$\Delta X = f(\Delta x_i; \Delta U_{гр}), \quad (X.49)$$

где ΔX — область изменения выходного параметра, когда он еще находится в пределах допуска; $\Delta x_i, \Delta U_{гр}$ — пределы изменения переменного параметра и параметра граничных испытаний.

С помощью графиков граничных испытаний можно определить правильность выбора номинальных значений параметров комплектующих элементов, питающих напряжений, допусков на выходные параметры микромодуля с учетом воздействующих факторов, а также сравнивать «запас» надежности аналогичных схем по величине площадей областей безотказной работы. С помощью этого метода уже на стадии разработки микромодулей можно произвести качественную оценку их надежности по постепенным отказам.

Испытания на надежность

Испытания микромодулей на надежность должны проводиться на этапе проектирования и отработки но-

вых схем, в процессе приемки опытных образцов и в ходе серийного производства. В процессе проектирования новых схем микромодулей путем расчета производится ориентировочная оценка ожидаемой надежности. Однако расчетное значение надежности является весьма неточной оценкой, так как базируется на грубо усредненных исходных данных. Поэтому испытания на надежность, проводимые при проектировании и отработке опытных образцов микромодулей, являются самым эффективным методом, который позволяет уточнить расчетную оценку надежности и выявить конструктивные и схемные недостатки (применение ненадежных элементов, неудачные схемные решения и т. д.), которые не могут быть выявлены расчетным или другим путем. По результатам испытаний производится доработка схем, конструкции, технологии изготовления или технической документации и формулируются требования по надежности в технических условиях на микромодуль. Испытания на надежность на этом этапе, таким образом, являются определительными испытаниями.

Испытания на надежность при изготовлении опытных образцов и в ходе серийного производства микромодулей проводятся с целью подтверждения соответствия полученных количественных показателей надежности микромодулей требованиям технических условий, т. е. являются контрольными. Для проведения испытаний микромодулей на надежность необходимо определить условия испытаний: воздействующие факторы, продолжительность испытаний, необходимое количество (выборку) микромодулей, подлежащих испытаниям.

Наибольшее влияние на микромодули оказывает комплексное воздействие повышенных температур и электрической нагрузки. В связи с этим при испытаниях на надежность рекомендуется следующий режим: температура $+70^{\circ}\text{C}$, электрическая нагрузка — в соответствии с частными техническими условиями на микромодули.

Температура $+70^{\circ}\text{C}$ определяется предельно допустимой температурой перехода германиевых полупроводниковых приборов (с учетом выделения внутреннего джоулева тепла). Проведение испытаний при более низких температурах приводит к увеличению времени испытаний для получения достоверных результатов.

Электрическая нагрузка, соответствующая требованиям технических условий, рекомендуется для максимального приближения электрического режима в процессе испытаний к режиму нормальной эксплуатации микромодулей. Для ускорения испытаний допускается форсированный электрический режим, не вызывающий изменения характера протекания физических процессов в элементах и материалах, из которых изготовлены микромодули.

Определение выборки и времени при определительных испытаниях основывается на ожидаемом значении интенсивности отказов $\lambda_{\text{ожид}}$, полученном расчетным путем. При этом объем испытаний определяется по формуле, полученной из выражения

$$Nt_{\text{и}} = \frac{m}{\lambda_{\text{ожид}}}. \quad (\text{X.50})$$

В этой формуле известна только одна величина $\lambda_{\text{ожид}}$. Таким образом, перед началом определительных испытаний требуется определить необходимое количество микромодулей, подлежащих испытаниям, продолжительность испытаний и допустимое число отказов с целью получения результатов испытаний с достаточной точностью или, другими словами, с достаточной достоверностью. Это решается при помощи доверительных границ

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{m}{Nt_{\text{н}}r_1}, \quad (\text{X.51})$$

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{m}{Nt_{\text{н}}r_2}. \quad (\text{X.52})$$

Для определения объема испытаний задаются интервалом между доверительными границами $\frac{\lambda_{\text{в}}}{\lambda_{\text{н}}} = \frac{mr_1}{mr_2}$ и доверительной вероятностью α .

Достоверность результатов определительных испытаний должна быть достаточной для уточнения требований технических условий, поэтому рекомендуется α брать не менее 0,8.

Увеличение доверительной вероятности выше 0,9 приводит к значительному увеличению объема испытаний. Так, объем испытаний $Nt_{\text{и}}$ при $\alpha=0,9$ и $\lambda_{\text{в}}/\lambda_{\text{н}}=3,5$ равен

$6 \cdot 10^5$ модуль·час, а при $\alpha=0,975$ и $\lambda_B/\lambda_H=3,5$ равен $10 \cdot 10^5$ модуль·час, т. е. увеличение α с 0,9 до 0,975 приводит к увеличению объема испытаний в 1,5 раза.

С уменьшением отношения λ_B/λ_H с 2,5 до 2 при $\alpha=0,9$ объем испытаний увеличивается в 1,5 раза. Увеличение λ_B/λ_H значительно расширяет пределы доверительных границ. Поэтому рекомендуется выбирать доверительную вероятность, равную 0,8—0,90, а величину отношения λ_B/λ_H в пределах 2,5—4,5.

Количество отказов m , необходимое для получения достоверных результатов испытаний, приведено в табл. X.2 в зависимости от λ_B/λ_H и α .

ТАБЛИЦА X.2

m	λ_B/λ_H	
	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 0,8$
1	31,6	13,6
2	9,92	5,15
3	6,07	3,55
4	4,58	2,90
5	3,8	2,57
6	3,34	2,34
8	2,78	2,04
10	2,48	1,88
15	2,09	1,64

Зная m и $\lambda_{\text{ожид}}$, по формуле (X.50) рассчитывается объем испытаний Nt_H .

Выше указывалось, что поток отказов микромодулей после периода их приработки является простейшим потоком. Для простейшего потока применимо так называемое эргодическое свойство, которое заключается в том, что для оценки безотказности изделий можно испытывать либо несколько изделий в течение необходимого промежутка времени, либо одно изделие весьма длительное время. Это свойство используется при установлении объема выборки и определении продолжительности испытаний: по расчетному значению Nt_H составляют таблицу различных сочетаний времени испытаний и количества микромодулей и из практических соображений выбирают наиболее приемлемые Nt_H .

Пример. Пусть $\lambda_{\text{ожид}}=10^{-5}$ 1/час, требуется определить объем испытаний.

Зададимся отношением $\lambda_{\text{в}}/\lambda_{\text{н}}=3,5$ и доверительной вероятностью $\alpha=0,8$. Из табл. X.2 по $\lambda_{\text{в}}/\lambda_{\text{н}}$ и α находим число отказов $m=3$. По формуле (X.50) рассчитываем объем испытаний $Nt_{\text{н}}=3 \cdot 10^5$. Составляем таблицу различных сочетаний $t_{\text{н}}$ и N (табл. X.3).

ТАБЛИЦА X.3

$t_{\text{н}}, \text{ час}$	1 000	1 500	3 000	6 000
$N, \text{ шт.}$	300	200	100	50

Для более быстрого получения результатов испытаний выбирается меньшее время и соответственно большее количество изделий (например, $t_{\text{н}}=1000 \text{ час}$ и $N=300 \text{ шт.}$).

Если окончание испытаний временем не ограничивается, выбирается большее значение $t_{\text{н}}$ и соответственно меньшее число N (например, $t_{\text{н}}=3000 \text{ час}$ и $N=100 \text{ шт.}$).

Установив объем выборки N , время испытаний $t_{\text{н}}$ и электрический режим микромодулей, проводят испытания, в течение которых периодически контролируется работоспособность микромодулей, измеряются их параметры и фиксируются отказы.

По результатам испытаний определяются действительное значение λ , средние арифметические и средние квадратические значения параметров m_s и σ_s и дается заключение о надежности микромодулей и правильности установленных в технических условиях допусков на выходные параметры.

При проведении контрольных испытаний необходимо определить объем выборки и приемочное число отказов. Заказчик микромодулей в технических условиях задает требование интенсивности отказов $\lambda_{\text{ТУ}}$. Завод-изготовитель для выполнения этих требований должен иметь такой технологический процесс и технологическую дисциплину, чтобы уровень интенсивности отказов $\lambda_{\text{пр}}$ выпускаемой продукции был ниже заданных по ТУ.

$$\lambda_{\text{пр}} = \eta \lambda_{\text{ТУ}}, \quad (\text{X.53})$$

где η — коэффициент запаса по надежности.

Для организации статистического контроля необходимо выбрать объем выборки N и оценочный норматив

С. В случае, когда число отказов m , полученное в процессе испытаний, меньше или равно C , партия оценивается удовлетворительно; если $m > C$, партия бракуется. Такая приемка, связана как с риском изготовителя так и с риском заказчика.

Риском изготовителя называется вероятность того, что партия микромодулей с $\lambda = \lambda_{\text{пр}}$ будет в процессе испытаний забракована, т. е.

$$\alpha = \text{Вер}(m > C \text{ при } \lambda = \lambda_{\text{пр}}). \quad (\text{X.54})$$

Риском заказчика называется вероятность того, что партия изделий, у которой $\lambda > \lambda_{\text{ту}}$, будет случайно принята, т. е.

$$\beta = \text{Вер}(m \leq C \text{ при } \lambda > \lambda_{\text{ту}}). \quad (\text{X.55})$$

Желательно иметь величины α и β достаточно малыми для того, чтобы браковка хорошей и пропуск плохой продукции стали редкими явлениями. Однако уменьшение значений рисков приводит к резкому увеличению объема выборки. В табл. X.4 приведены объемы выборки в зависимости от α и β при времени испытаний 1000 час и $\eta = 0,4$.

ТАБЛИЦА X.4

$\alpha = \beta$	0,05	0,1	0,2
N	385	235	115

Рационально принимать значения α и β , равные 0,1 или 0,2. Продолжительность испытаний в ходе серийного производства должна выбираться такой, чтобы эти испытания не приводили к длительной задержке выпуска очередной партии. В большинстве случаев время испытаний принимают равным 1000 час, что при трехсменной работе составляет примерно полтора месяца.

Таким образом, для определения объема выборки и оценочного норматива задаются: время испытаний $t_{\text{и}}$, интенсивность отказов по техническим требованиям $\lambda_{\text{ту}}$, интенсивность отказов, характеризующая уровень производства $\lambda_{\text{пр}}$, риск заказчика β , риск изготовителя α . Вычисляется отношение $\eta = \lambda_{\text{пр}} / \lambda_{\text{ту}}$ и по α , β и η

в табл. X.5 находят оценочный норматив C . Затем по C и α из табл. X.6 определяют вспомогательное число a .

ТАБЛИЦА X.5

C	Значения η	
	$\alpha = \beta = 0,1$	
	$\alpha = \beta = 0,1$	$\alpha = \beta = 0,2$
0	0,046	0,14
1	0,14	0,28
2	0,21	0,36
3	0,26	0,42
5	0,34	0,49
7	0,4	0,55
9	0,44	0,58

ТАБЛИЦА X.6

C	a	
	$\alpha = 0,1$	
	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,2$
0	0,11	0,22
1	0,5	0,82
2	1,1	1,5
3	1,7	2,3
4	2,4	3,1
5	3,2	3,9
6	3,9	4,7
7	4,7	5,6
8	5,4	6,5
9	6,2	7,3

Выборка N определяется по формуле

$$N = \frac{a}{t_n \lambda_{np}}. \quad (X.56)$$

Пример. Заданы $\alpha=0,2$; $\beta=0,2$; $\lambda_{np}=2 \cdot 10^{-5}$ 1/час; $\lambda_{ту}=5 \cdot 10^{-5}$ 1/час; $t_n=1000$ час. Требуется найти C и N .

Определяем

$$\eta = \frac{\lambda_{np}}{\lambda_{ту}} = 0,4.$$

Из табл. X.5 и X.6 по $\alpha=\beta=0,2$ и $\eta=0,4$ находим $C=3$; по $C=3$ и $\alpha=0,2$ находим $a=2,3$. По формуле (X.56) вычисляем $N=175$ микромодулей.

Если в процессе приемки опытных образцов или в ходе серийного производства производится изменение конструкции или технологии, которые могут оказать существенное влияние на надежность, то для определения количественных показателей проводят определительные испытания.

Количественные показатели позволяют судить об уровне надежности выпускаемых микромодулей и сравнивать различные партии однотипных микромодулей.

Входной контроль микроэлементов

Одним из путей улучшения качества и повышения надежности микромодулей в процессе их изготовления в условиях опытного и серийного производства является организация входного контроля основных параметров, внешнего вида и габаритов микроэлементов на соответствие их требованиям технических условий. Несмотря на то, что на заводах-изготовителях все микроэлементы проходят выходной контроль, в ряде случаев по тем или иным причинам отдельные элементы имеют скрытые дефекты, которые невозможно обнаружить при помощи контрольных приемов и средств, имеющихся в распоряжении завода-изготовителя, и эти потенциально ненадежные микроэлементы поступают к потребителю. Кроме того, у потребителя микроэлементы часто не сразу попадают в сферу производства, а направляются на склад, где могут пролежать довольно длительное время в так называемом режиме хранения. Основной фактор, действующий в этом режиме, — время, воздействие которого выражается в процессах старения. За счет этих процессов потенциально ненадежные микроэлементы либо полностью выходят из строя, либо значительно изменяют свои параметры.

Если при комплектовании заказов производства предварительно не проверять микроэлементы на соответствие их ТУ, то не исключена возможность попадания негодных микроэлементов в микромодули и обнаруживается это только при проверке уже собранных микромодулей, что приводит к неисправимому браку. При этом в брак также уходят все микроэлементы, входящие в состав данного микромодуля. Поэтому входной контроль микроэлементов является экономически оправданным и должен являться одной из основных операций технологического процесса изготовления микромодулей. Входной контроль должен осуществляться подразделениями ОТК, оснащенными необходимым парком контрольно-измерительной аппаратуры, и располагающими рабочими местами, полностью исключающими возможность порчи микроэлементов при извлечении их из заводской тары и при осуществлении контроля. Особые требования должны предъявляться к культуре производства и условиям окружающей среды.

Тренировка микромодулей — метод повышения качества микромодулей

Опыт эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры показывает, что примерное усредненное распределение отказов во времени в большинстве случаев может быть представлено графиком, изображенным на рис. X.6.

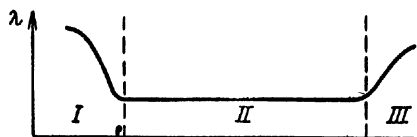


Рис. X.6. Распределение интенсивности отказов во времени:

I — период приработки; II — период нормальной эксплуатации; III — период старения.

Первый период эксплуатации аппаратуры (I) — период приработки — характеризуется большим числом отказов, что объясняется, главным образом, массовым проявлением в этом периоде скрытых дефектов производства, которые не выявляются при контрольных испытаниях аппаратуры вследствие недостаточного совершенства средств контроля. В зависимости от сложности и надежности радиоэлектронной аппаратуры продолжительность этого периода может достигать 100 и более часов рабочего времени.

Второй период (II) является основным. Он длится до нескольких тысяч часов и называется периодом нормальной эксплуатации. Этот период характеризуется тем, что в равные промежутки времени в среднем происходит равное число отказов.

Третий период (III), называемый обычно периодом «старения», характеризуется резким повышением числа отказов за счет массового проявления процессов старения и механического изнашивания элементов и материалов.

Для обеспечения более высокой эксплуатационной надежности микромодулей крайне желательно исключить из эксплуатации первый период — период приработки, период повышенных отказов. Это достигается, с одной стороны, введением в технологический процесс

изготовления микромодулей процесса тренировки (приработки) микромодулей, с другой стороны, — введением технологического прогона микромодульных блоков. Тренировка или приработка микромодулей в условных режимах дает возможность отбраковать большую часть потенциально ненадежных микромодулей до установки их в аппаратуру.

Технологический прогон микромодульных блоков дает возможность повысить эффективность отбраковки за счет приработки микромодулей в нормальных режимах, соответствующих эксплуатационным режимам работы.

Для определения режима тренировки микромодулей следует учитывать, что из всех видов механических и климатических воздействий наиболее сильное влияние на микромодули оказывает воздействие повышенных температур и электрических нагрузок, действие которых также сводится к тепловому воздействию. Наиболее эффективное воздействие имеет место при сочетании этих факторов. Поэтому, если термотренировка микромодулей («пассивная» тренировка) повышает их надежность в 2—3 раза, то термоэлектротренировка («активная» тренировка) повышает надежность микромодулей примерно на порядок.

На предприятиях промышленности используются оба вида тренировки микромодулей. Для «пассивной» тренировки микромодули помещаются в термостат и выдерживаются там без электрической нагрузки при температуре $+70^{\circ}\text{C}$, поддерживаемой с точностью не хуже $\pm 3^{\circ}\text{C}$ в течение 200 час. «Активная» тренировка микромодулей проводится в тех же температурных условиях, только на микромодули подаются электрические нагрузки, предусмотренные техническими условиями.

Применение того или иного вида тренировки определяется производственными возможностями, однако предпочтение следует отдавать термотоковой тренировке, как наиболее эффективной.

Универсальное оборудование для термоэлектротренировки микромодулей позволяет осуществлять тренировку любых типов микромодулей в электрических режимах, максимально приближающихся к режимам эксплуатации. Это обеспечивается при помощи эквивалентов нагрузки и соответствующих напряжений питания и входных сигналов.

Для упрощения процесса термотокервой тренировки микромодулей возможна тренировка микромодулей в искусственном режиме, отличном от режима нормальной эксплуатации. В этом случае на микромодули подаются напряжения питания и входные сигналы от блока питания, включаемого в промышленную силовую сеть переменной частоты 50 Гц, в виде пульсирующих и переменных напряжений. Это освобождает производство от необходимости иметь большой парк стандартных генераторов сигналов и источников питания, а также от необходимости составлять довольно сложные схемы тренировки для каждой совокупности тренируемых микромодулей. Недостаток этого метода электротермотренировки заключается в том, что элементы схемы микромодуля тренируются в режимах, отличных от реальных режимов эксплуатации.

Анализ причин отказов микромодулей

Производственную и эксплуатационную надежность микромодулей в основном определяют качество и надежность микроэлементов, ошибки разработчиков и конструкторов, допущенные при разработке микромодулей, несовершенство технологического процесса изготовления и нарушения принятой технологии, нарушения правил эксплуатации. Поэтому в целях повышения надежности микромодулей очень важно еще в начальной стадии производственного изготовления вскрыть эти недостатки и принять соответствующие решения по их устранению. Это возможно только при проведении тщательного, технически обоснованного анализа причин отказов микромодулей на всех этапах производственного цикла и эксплуатации.

Основой для проведения такого анализа является статистическая информация об отказах. Статистика дает объективное количественное представление о качестве и надежности микромодулей, при этом необходимо обращать особое внимание на достоверность и полноту информации. Статистическая информация может исказить действительную картину, если она недостаточно полная или небрежно собрана. В связи с этим для обеспечения максимальной точности статистической информации необходимо четко определять объем и порядок

сбора информации, а также взаимодействие всех служб завода, участвующих в получении, сборе и обработке информации об отказах. Обязательным содержанием информации должны являться сведения о конкретных причинах отказов, времени наработки микромодуля до отказа и характеристика режимов и условий работы. Формы сбора статистической информации на различных этапах производства и эксплуатации разрабатываются применительно к структурным особенностям каждого завода. Конкретные причины отказов микромодулей выявляются при проведении непрерывного анализа отказавших микромодулей в процессе их изготовления и эксплуатации.

Все отказы целесообразно распределять по следующим причинам:

- некачественные микроэлементы;
- несовершенная технология;
- несовершенная техническая документация;
- производственный брак (некачественное выполнение технологических операций);
- нарушение правил эксплуатации.

В зависимости от характера проявления отказа используется тот или иной метод определения причин отказа. После операции сборки и пайки, когда микромодуль находится еще в негерметизированном состоянии, для обнаружения причин отказов используется метод визуального осмотра простым глазом или при помощи увеличительных оптических средств. При этом обращается внимание на качество паяных соединений, наличие сколов и трещин на микроплатах, а также на качество металлизации микроплат (разрывы, отслаивание и т. п.).

Анализ причин отказов герметизированных микромодулей представляет более сложную задачу. Здесь визуальный осмотр возможен лишь для обнаружения дефектов на поверхности микромодуля (раковины, сколы, трещины и т. д.) и на выводах (изгибы, поломки). Для выявления внутренних дефектов используются другие методы: прозвонка цепей микромодуля, определение причин неисправности по характеру изменения выходного сигнала, рентгеноскопия и др. В отдельных случаях микромодули приходится распиливать для того, чтобы затем с помощью микроскопа определить причину дефекта

(нарушение контактов, отрыв микроэлементов от платы, некачественные микроэлементы и т. п.).

При выявлении систематических причин отказов микромодулей производится тщательный анализ технической документации: оценка правильности выбора допусков на выходные параметры, проверка режимов использования микроэлементов, правильность и обоснованность выбранных методик и средств проверки параметров и т. д. В ряде случаев для установления причин систематических отказов микромодулей проводятся исследования по специальным программам в течение определенного промежутка времени при воздействии комплекса факторов, которые предположительно могут вызывать такие отказы. Исследования должны проводиться на достаточном количестве микромодулей для получения достоверных результатов.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМИТТЕРНЫХ ПОВТОРИТЕЛЕЙ ЭП-00—ЭП-08

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-00 *

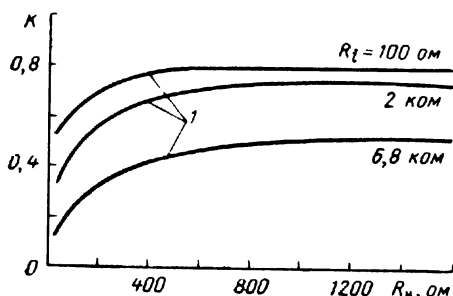


Рис. П.1.1. Зависимость $K=f(R_n)$ при $U_{вх}=4,5$ в, $\tau_{вх}=3$ мксек, $F_n=2$ кГц, $C_n=470$ пф.

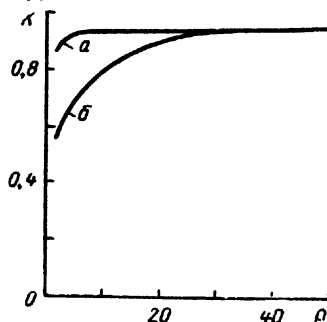


Рис. П.1.2. Зависимость коэффициента передачи K от скважности Q :

a — без переходной емкости;
 b — с переходной емкостью на входе микромодуля.

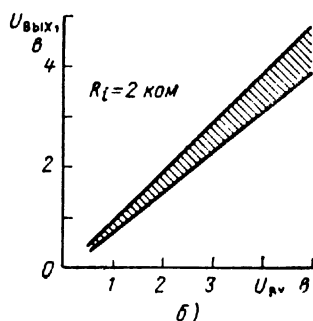
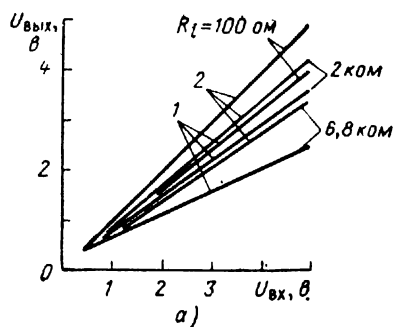


Рис. П.1.3. Амплитудные характеристики $U_{вых}=f(U_{вх})$ при $\tau_{вх}=3$ мксек, $F_n=2$ кГц, $R_n=2$ кОм, $C_n=470$ пф:

a — при разном сопротивлении источника сигнала R_i ; b — при изменении питающих напряжений, номиналов входящих элементов и условий окружающей среды.

* Кривые 1 — для микромодулей с минимальным K ; кривые 2 — для микромодулей с максимальным K ; все характеристики сняты при нормальных условиях окружающей среды.

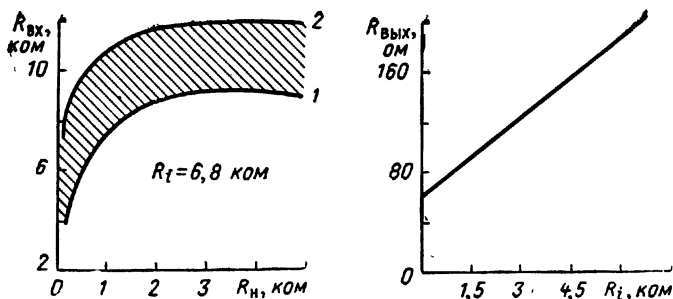


Рис. П.1.4. Зависимости $R_{\text{вых}}=f(R_{\text{н}})$ и $R_{\text{вых}}=f(R_i)$ при $\tau_{\text{вх}}=10$ мксек, $F_{\text{н}}=2$ кГц.

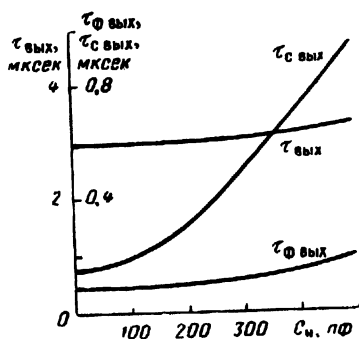


Рис. П.1.5. Зависимости $\tau_{\text{ф вых}}, \tau_{\text{с вых}}, \tau_{\text{в вых}}=f(C_{\text{н}})$ при $\tau_{\text{вх}}=3$ мксек, $U_{\text{вх}}=4,5$ в; $R_{\text{н}}=2$ кОм, $R_i=2$ кОм.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-01 *

I. Синусоидальное напряжение

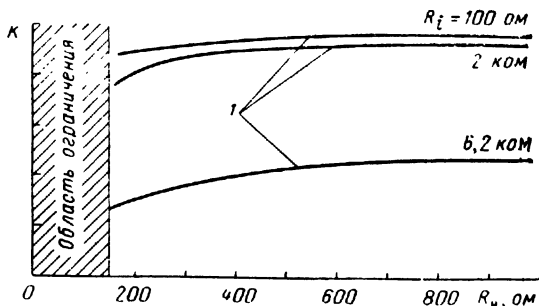


Рис. П.1.6. Нагрузочные характеристики $K=f(R_{\text{н}})$ при $U_{\text{вх}}=0,5$ в, $f=100$ кГц, $C_{\text{н}}=470$ пФ.

* Кривые 1 — для микромодулей с минимальным K ; кривые 2 — для микромодулей с максимальным K ; все характеристики сняты при нормальных условиях окружающей среды.

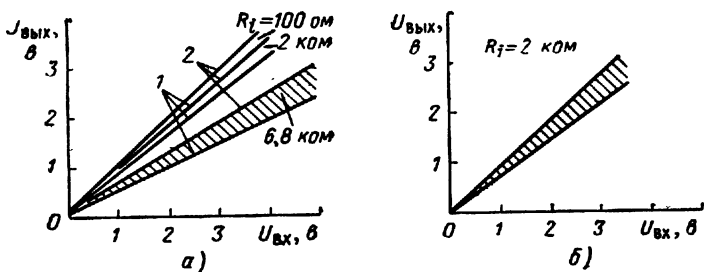


Рис. П.1.7. Амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $C_H = 470 \text{ нф}$:
 а — при разных значениях R_i и $R_H = 2 \text{ кОм}$, $f = 100 \text{ кГц}$; б — при изменении питающих напряжений, номиналов входящих элементов, и условий окружающей среды.

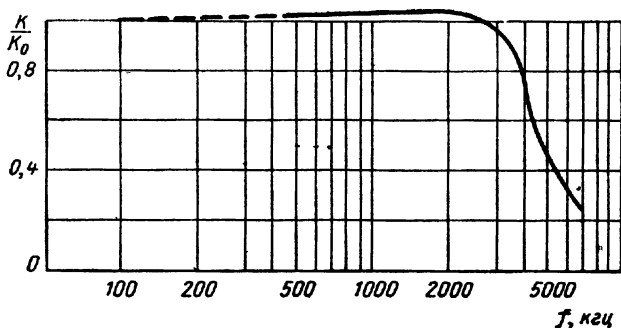


Рис. П.1.8. Зависимость $K = \varphi(f)$ при $R_i = 2 \text{ кОм}$, $R_H = 2 \text{ кОм}$, $C_H = 470 \text{ нф}$, $U_{\text{вх}} = 0,5 \text{ в}$.

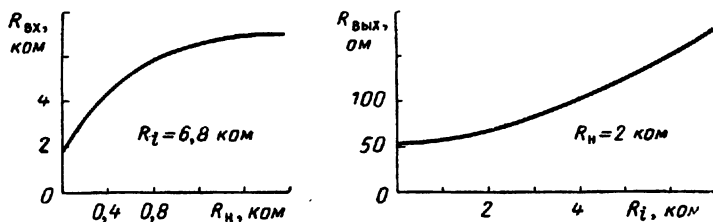


Рис. П.1.9. Зависимости $R_{\text{вх}} = f(R_H)$ и $R_{\text{вых}} = f(R_i)$ при $f = 100 \text{ кГц}$, $C_H = 470 \text{ нф}$; $R_i = 6,8 \text{ кОм}$, $U_{\text{вх}} = 1 \text{ в}$.

II. Биполярные импульсы

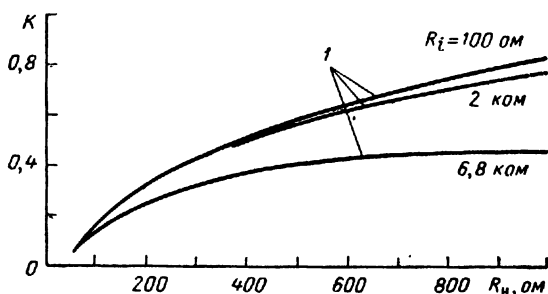


Рис. П.1.10. Нагрузочные характеристики $K = f(R_n)$ при $F_n = 2$ кГц, $U_{вх} = 3$ в, $\tau_{вх} = 250$ мксек, $C_n = 470$ пф.

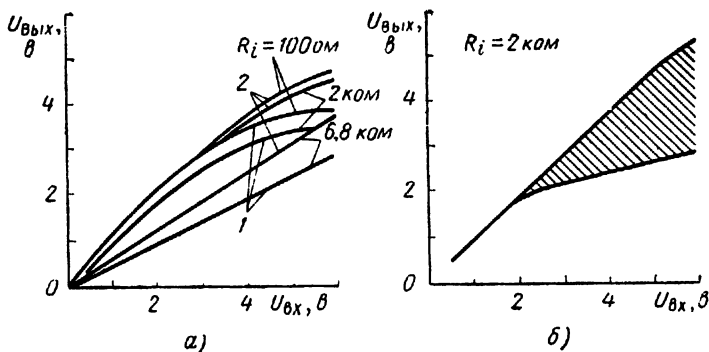


Рис. П.1.11. Амплитудные характеристики $U_{вых} = f(U_{вх})$ при $F_n = 2$ кГц, $\tau_{вх} = 250$ мксек, $R_n = 2$ ком, $C_n = 470$ пф: а — при разных значениях R_i ; б — при изменении номиналов входящих элементов и условий окружающей среды.

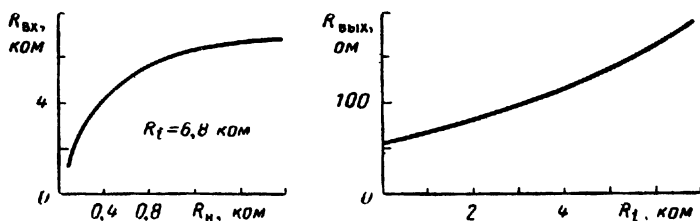


Рис. П.1.12. Зависимости $R_{вх} = f(R_n)$ и $R_{вых} = f(R_i)$ при $F_n = 2$ кГц, $\tau_{вх} = 250$ мксек, $U_{вх} = 1$ в, $C_n = 470$ пф.

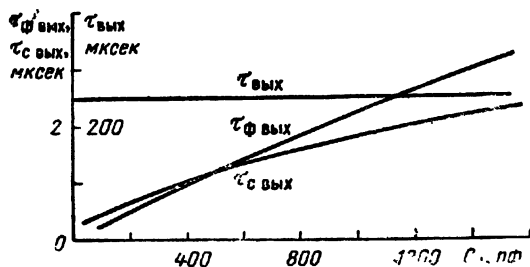


Рис. П.1.13. Зависимости $\tau_{\text{вых}}$, $\tau_{\text{ф вых}}$, $\tau_{\text{с вых}} = f(C_{\text{н}})$ при $\tau_{\text{вх}} = 250$ мксек, $U_{\text{вх}} = 3$ в, $R_{\text{н}} = 2$ ком, $R_{\text{г}} = 2$ ком, $F_{\text{н}} = 2$ кГц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-02 *

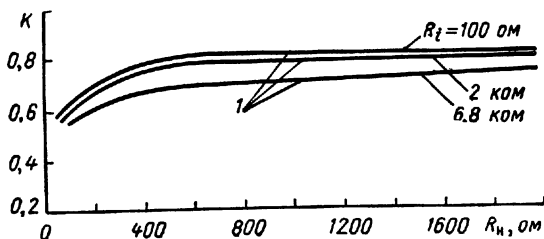


Рис. П.1.14. Нагрузочные характеристики $K = f(R_{\text{н}})$ при $U_{\text{вх}} = 4,5$ в, $\tau_{\text{вх}} = 3$ мксек, $F_{\text{н}} = 2$ кГц, $C_{\text{н}} = 470$ пф.

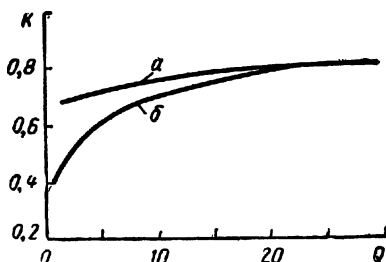


Рис. П.1.15. Зависимость $K = f(Q)$ при $R_{\text{н}} = 2$ ком, $C_{\text{н}} = 470$ пф, $U_{\text{вх}} = 4,5$ в:
а — без переходной емкости; б — с переходной емкостью на входе микро-модуля.

* Кривые 1 — для микромодулей с минимальным K ; кривые 2 — для микромодулей с максимальным K ; все характеристики сняты при нормальных условиях окружающей среды.

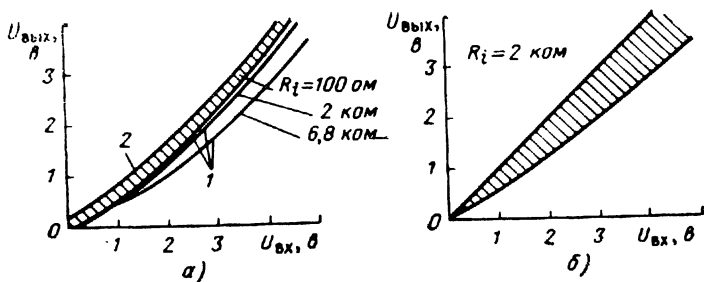


Рис. П.1.16. Амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $\tau_{\text{вх}} = 3 \text{ мксек}$, $F_{\text{н}} = 2 \text{ кГц}$, $R_{\text{н}} = 2 \text{ кОм}$, $C_{\text{н}} = 470 \text{ пф}$:
 а — при разных значениях R_i ; б — при изменении питающих напряжений, номиналов входящих элементов и условий окружающей среды.

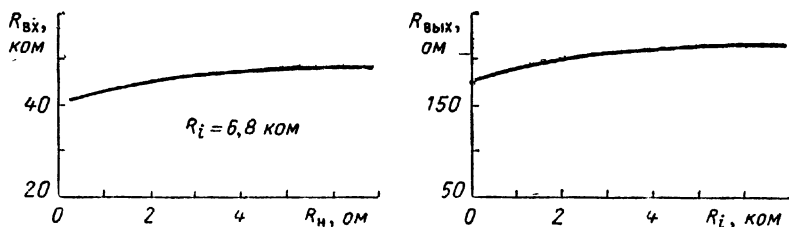


Рис. П.1.17. Зависимости $R_{\text{вх}} = f(R_{\text{н}})$ и $R_{\text{вых}} = f(R_i)$ при $\tau_{\text{вх}} = 10 \text{ мксек}$, $F_{\text{н}} = 2 \text{ кГц}$, $U_{\text{вх}} = 4,5 \text{ в}$, $C_{\text{н}} = 470 \text{ пф}$.

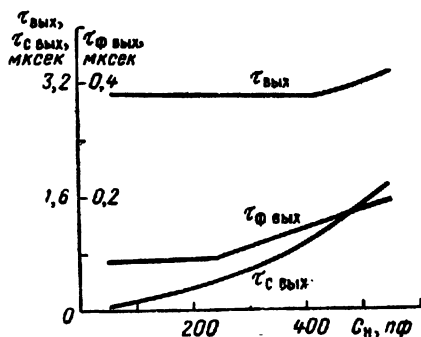


Рис. П.1.18. Зависимости $\tau_{\text{вых}}$, $\tau_{\phi \text{ вых}}$, $\tau_{\text{с вых}} = f(C_{\text{н}})$ при $R_{\text{н}} = 2 \text{ кОм}$, $R_i = 2 \text{ кОм}$, $U_{\text{вх}} = 4,5 \text{ в}$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-03

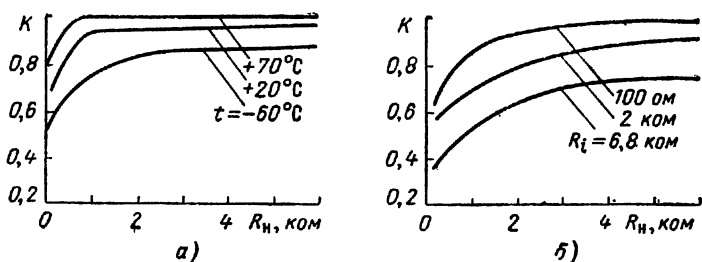


Рис. П.1.19. Зависимость $K=f(R_n)$ при $U_{вх}=4 \text{ в}$, $\tau_{вх}=10 \text{ мксек}$, $F_n=5 \text{ кГц}$, $C_n=470 \text{ пф}$:

а — при различных значениях температуры $t, ^\circ\text{C}$; б — при различных значениях R_i и $t=+20^\circ\text{C}$.

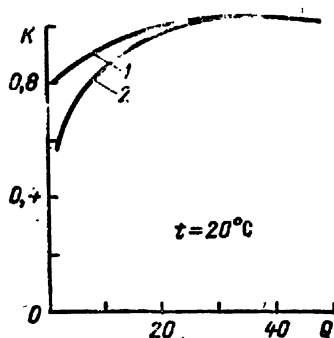


Рис. П.1.20. Зависимость $K=f(Q)$ при $U_{вх}=4 \text{ в}$, $F_n=5 \text{ кГц}$, $C_n=470 \text{ пф}$, $R_n=4,7 \text{ ком}$, $\tau_{вх}=0,3\text{--}5 \text{ мксек}$:

1—без переходной емкости; 2—с переходной емкостью на входе микро модуля.

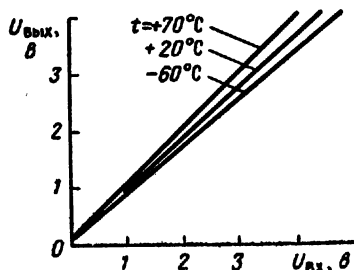


Рис. П.1.21. Зависимость $U_{вых}=f(U_{вх})$ при $\tau_{вх}=10 \text{ мксек}$, $F_n=5 \text{ кГц}$, $C_n=450 \text{ пф}$, $R_n=4,7 \text{ ком}$.

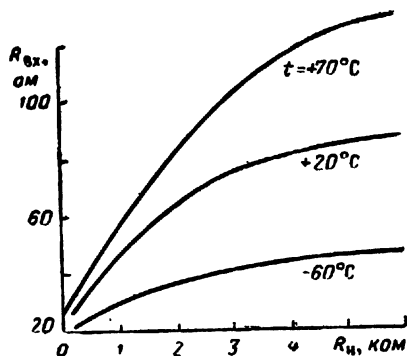


Рис. П.1.22. Зависимость $R_{vx} = f(R_n)$ при $U_{vx} = 4$ в, $\tau_{vx} = 10$ мксек, $F_n = 5$ кГц, $C_n = 470$ пф.

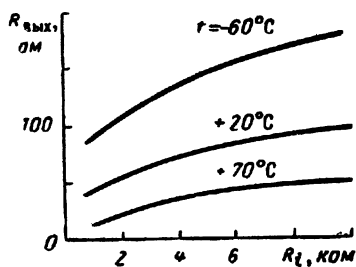


Рис. П.1.23. Зависимость $R_{vyx} = f(R_i)$ при $U_{vx} = 4$ в, $F_n = 2$ кГц, $C_n = 470$ пф, $\tau_{vx} = 10$ мксек.

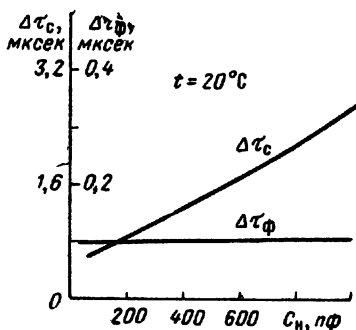


Рис. П.1.24. Зависимости $\Delta\tau_c$, $\Delta\tau_\phi = f(C_n)$ при $U_{vx} = 4$ в, $\tau_{vx} = 10$ мксек, $F_n = 5$ кГц.

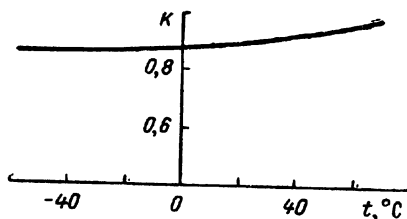


Рис. П.1.25. Зависимость $K = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{vx} = 4$ в, $\tau_{vx} = 10$ мксек, $F_n = 5$ кГц, $R_n = 4.7$ ком, $C_n = 470$ пф.

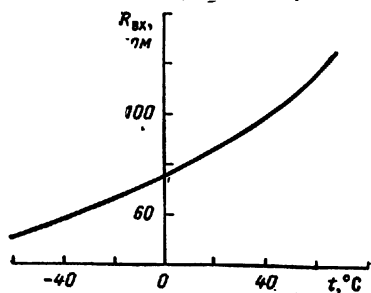


Рис. П.1.26. Зависимость $R_{vx} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{vx} = 4$ в, $\tau_{vx} = 10$ мксек, $F_n = 5$ кГц, $R_n = 4.7$ ком, $C_n = 470$ пф.

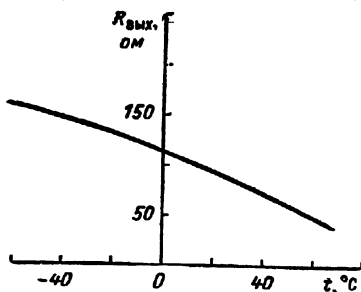


Рис. П.1.27. Зависимость $R_{vyx} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{vx} = 4$ в, $\tau_{vx} = 10$ мксек, $F_n = 2$ кГц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-04 *

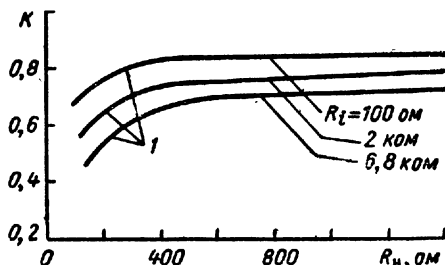


Рис. П.1.28. Нагрузочные характеристики $K=f(R_n)$ при $U_{вх}=4,5$ в, $\tau_{вх}=3$ мксек, $F_n=2$ кГц, $C_n=470$ пф.

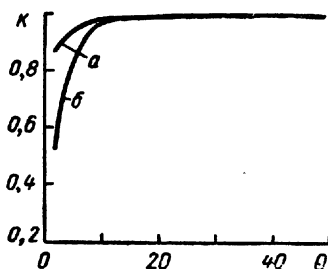


Рис. П.1.29. Зависимость $K=f(Q)$ при $R_n=2$ кОм, $C_n=470$ пф, $U_{вх}=4,5$ в:

a — без переходной емкости;
б — с переходной емкостью на входе микромодуля.

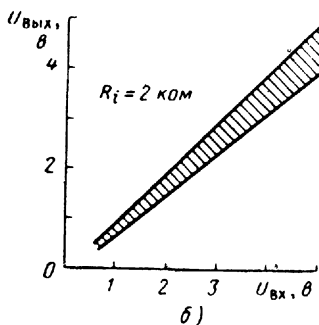
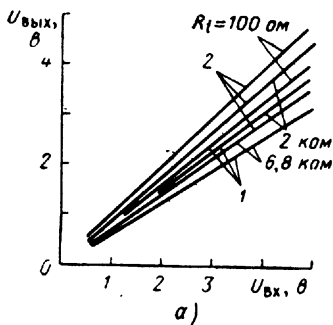


Рис. П.1.30. Амплитудные характеристики $U_{вых}=f(U_{вх})$ при $\tau_{вх}=3$ мксек, $F_n=2$ кГц, $R_n=2$ кОм, $C_n=470$ пф:

a — при различных значениях R_t ; *б* — при изменении питающих напряжений, номиналов входящих деталей и условий окружающей среды.

* Кривые 1 — для микромодулей с минимальным K ; кривые 2 — для микромодулей с максимальным K ; все характеристики сняты при нормальных условиях окружающей среды.

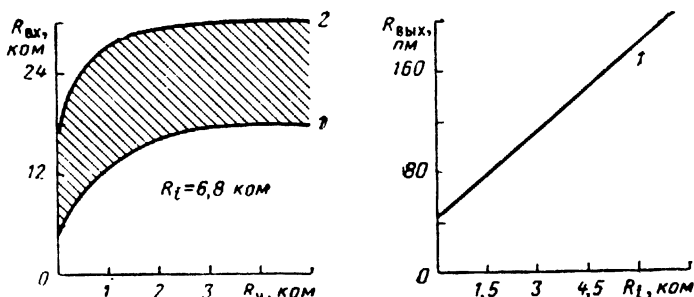


Рис. П.1.31. Зависимости $R_{\text{вых}}=f(R_{\text{н}})$ и $R_{\text{вых}}=f(R_i)$ при $t_{\text{вх}}=10$ мксек, $F_{\text{н}}=2$ кгц.

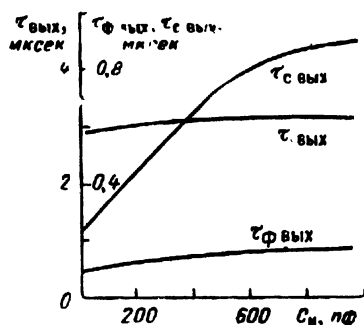


Рис. П.1.32. Зависимости $\tau_{\text{ф вых}}, \tau_{\text{с вых}}, \tau_{\text{вх}}=f(C_{\text{н}})$ при $t_{\text{вх}}=3$ мксек, $U_{\text{вх}}=4,5$ в, $R_{\text{н}}=2$ ком, $R_i=2$ ком.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-05

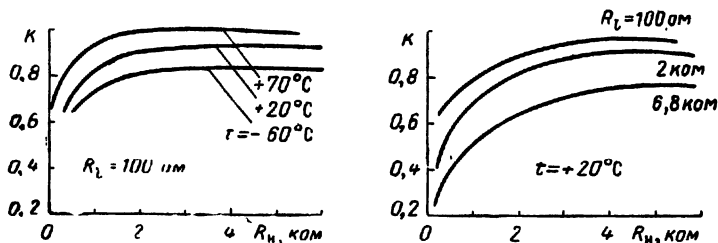


Рис. П.1.33. Зависимость $K=f(R_{\text{н}})$:

а — при различных значениях температуры и $U_{\text{вх}}=9$ в, $t_{\text{вх}}=10$ мксек, $F_{\text{н}}=5$ кгц, $C_{\text{н}}=470$ пф; б — при различных значениях внутреннего сопротивления источника входного сигнала.

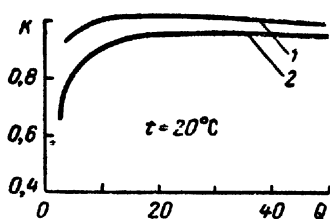


Рис. П.1.34. Зависимость $K=f(Q)$ при $U_{вх}=9$ в, $F_H=5$ кГц, $R_H=2$ ком, $\tau_{вх}=0,3 \div 500$ мксек, $C_H=470$ пф:

1 — без переходной емкости; 2 — с переходной емкостью на входе микромодуля.

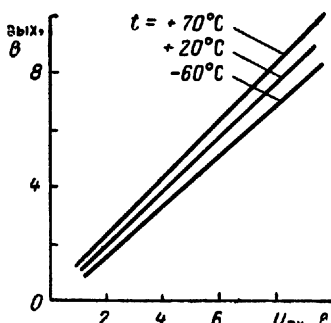


Рис. П.1.35. Зависимость $U_{вых}=f(U_{вх})$ при $\tau_{вх}=10$ мксек, $F_H=5$ кГц, $R_H=2$ ком.

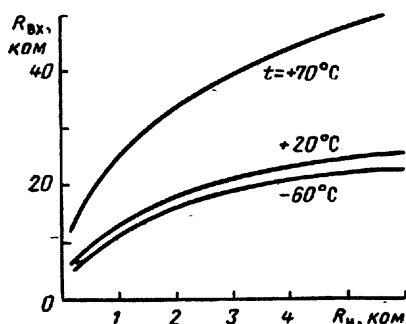


Рис. П.1.36. Зависимость $R_{вых}=f(R_H)$ при $U_{вх}=9$ в, $\tau_{вх}=10$ мксек, $F_H=5$ кГц, $C_H=470$ пф.

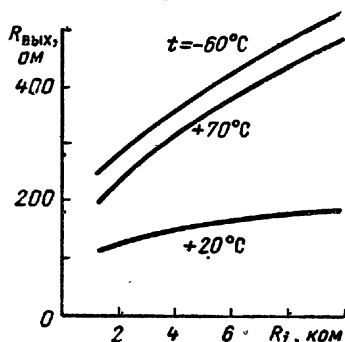


Рис. П.1.37. Зависимость $R_{вых}=f(R_i)$ при $U_{вх}=9$ в, $\tau_{вх}=10$ мксек, $C_H=470$ пф, $F_H=2$ кГц.

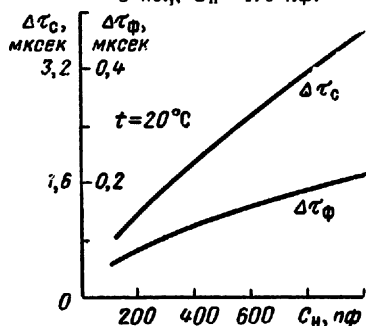


Рис. П.1.38. Зависимости $\Delta\tau_{\phi}$, $\Delta\tau_{\psi}=f(C_H)$ при $U_{вх}=9$ в, $\tau_{вх}=10$ мксек, $F_H=5$ кГц, $R_H=2$ ком.

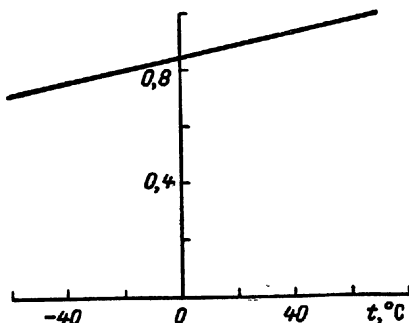


Рис. П.1.39. Зависимость $K=f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{вх}=9$ в, $\tau_{вх}=10$ мксек, $F_H=5$ кГц, $R_H=2$ ком, $C_H=470$ пф.

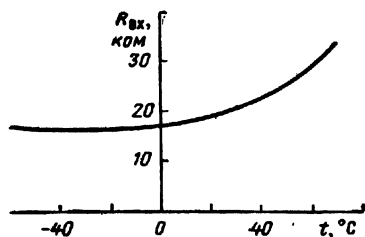


Рис. П.1.40. Зависимость $R_{\text{вых}} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{\text{вх}} = 9$ в, $\tau_{\text{вх}} = 10$ мксек, $F_{\text{н}} = 5$ кГц, $R_{\text{н}} = 2$ ком, $C_{\text{н}} = 470$ пф.

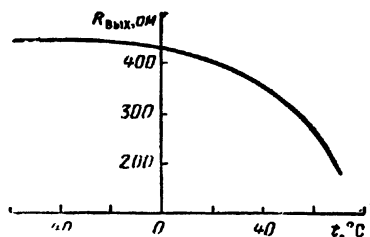


Рис. П.1.41. Зависимость $R_{\text{вых}} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{\text{вх}} = 9$ в, $\tau_{\text{вх}} = 10$ мксек, $F_{\text{н}} = 2$ кГц.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-06

1. Нагрузочные характеристики

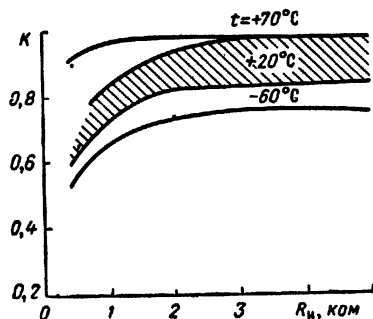


Рис. П.1.42. Зависимость $K = f(R_{\text{н}})$ при $F_{\text{н}} = 5$ кГц, $\tau_{\text{вх}} = 10$ мксек, $U_{\text{вх}} = 4,5$ в, $C_{\text{н}} = 470$ пф.

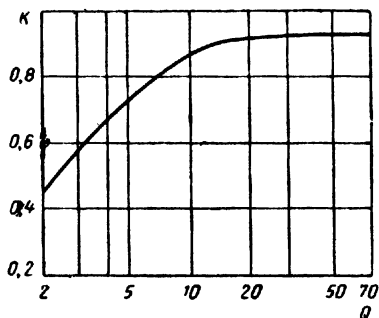


Рис. П.1.43. Зависимость $K = f(Q)$ при $F_{\text{н}} = 1$ кГц, $U_{\text{вх}} = 4,5$ в, $\tau_{\text{вх}} = 0,3 \div 500$ мксек, $R_{\text{н}} = 2$ ком.

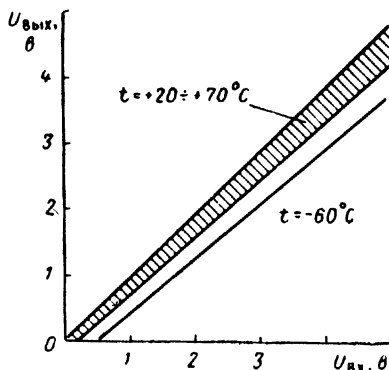


Рис. П.1.44. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $F_{\text{н}} = 5$ кГц, $\tau_{\text{вх}} = 10$ мксек, $R_{\text{н}} = 2$ ком, $C_{\text{н}} = 470$ пф.

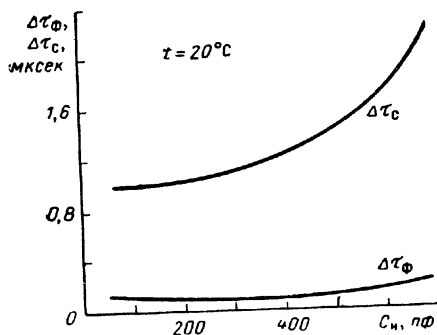


Рис. П.1.45. Зависимости $\Delta\tau_\phi$, $\Delta\tau_c = f(C_n)$ при $F_H = 5$ кГц, $\tau_{BX} = 10$ мксек, $U_{BX} = 4,5$ в, $R_H = 2$ ком.

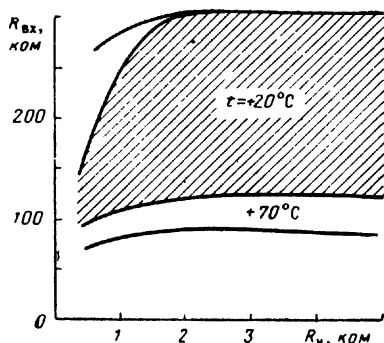


Рис. П.1.46. Зависимость $R_{BX} = f(R_H)$ при $F_H = 250$ кГц, $\tau_{BX} = 200$ мксек, $U_{BX} = 4,5$ в, $C_H = 470$ пФ.

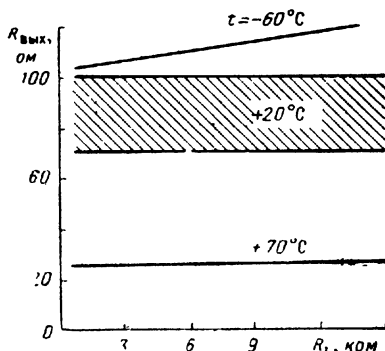


Рис. П.1.47. Зависимость $R_{BX} = f(R_i)$ при $F_H = 2$ кГц, $\tau_{BX} = 10$ мксек, $U_{BX} = 4,5$ в, $C_H = 470$ пФ.

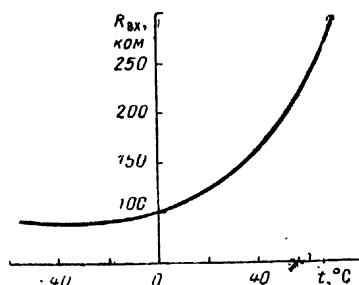


Рис. П.1.48. Зависимость $R_{BX} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{BX} = 4,5$ в, $F_H = 250$ кГц, $\tau_{BX} = 200$ мксек, $R_H = 2$ ком, $C_H = 470$ пФ.

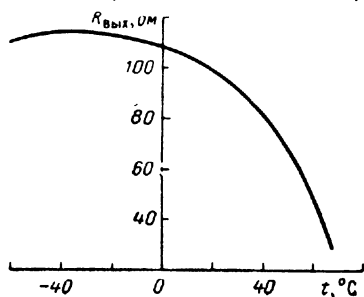


Рис. П.1.49. Зависимость $R_{BX} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{BX} = 4,5$ в, $F_H = 2$ кГц, $\tau_{BX} = 10$ мксек, $R_i = 6,8$ ком.

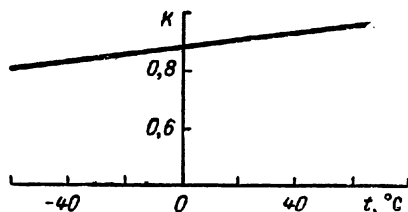


Рис. П.1.50. Зависимость $K = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{BX} = 4,5$ в, $F_H = 5$ кГц, $\tau_{BX} = 10$ мксек, $R_H = 2$ ком, $C_H = 470$ пФ.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-07

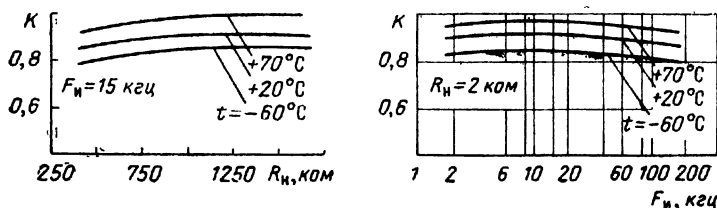


Рис. П.1.51. Зависимости $K=f(R_n)$ и $K=f(F_n)$ при $U_{вх}=5$ в, $C_n=470$ пф, $Q=2$.

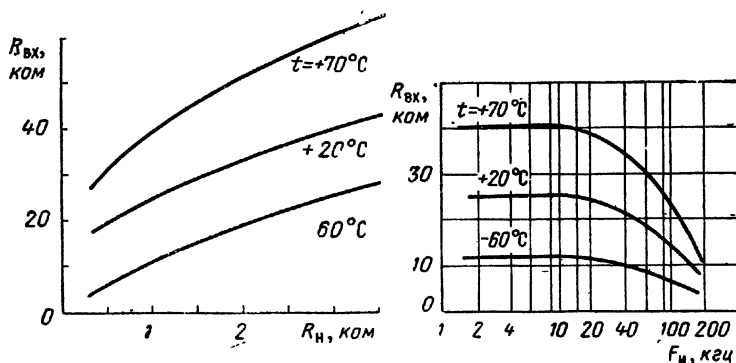


Рис. П.1.52. Зависимость $R_{вх}=f(R_n)$ при $U_{вх}=5$ в, $F_n=15$ кГц, $Q=2$.

Рис. П.1.53. Зависимость $R_{вх}=f(F_n)$ при $U_{вх}=5$ в, $R_n=2$ ком, $C_n=470$ пф, $Q=2$.

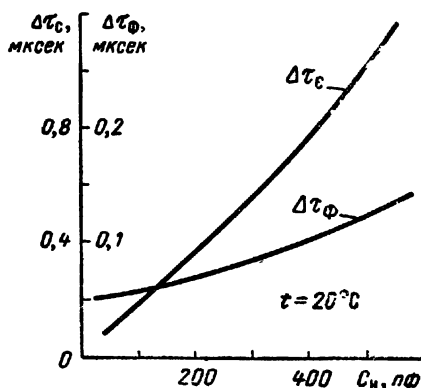


Рис. П.1.54. Зависимости $\Delta\tau_c$, $\Delta\tau_\phi=f(C_n)$ при $U_{вх}=5$ в, $F_n=15$ кГц, $R_n=2$ ком, $Q=2$.

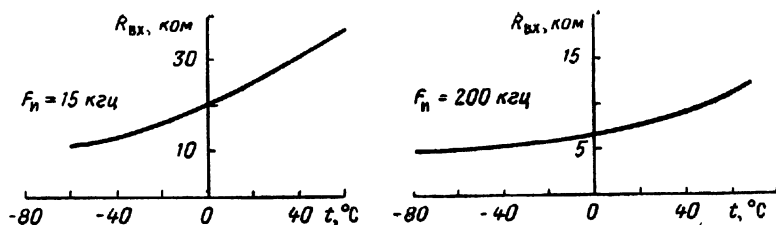


Рис. П.1.55. Зависимость $K=f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{\text{вх}}=5$ в, $C_n=470$ пф, $Q=2$, $R_n=2$ ком.

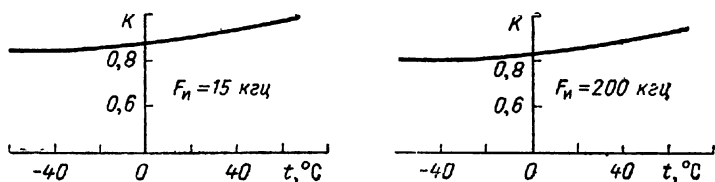


Рис. П.1.56. Зависимость $R_{\text{вх}}=f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{\text{вх}}=5$ в, $R_n=2$ ком, $C_n=470$ пф, $Q=2$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЯ ЭП-08

I. Для биполярных импульсов

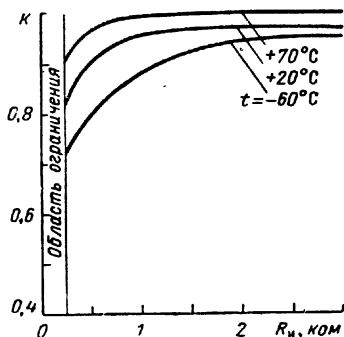


Рис. П.1.57. Нагрузочная характеристика $K=f(R_n)$ при $F_n=20$ кГц, $C_n=150$ пф, $U_{\text{вх}}=0,5$ в.

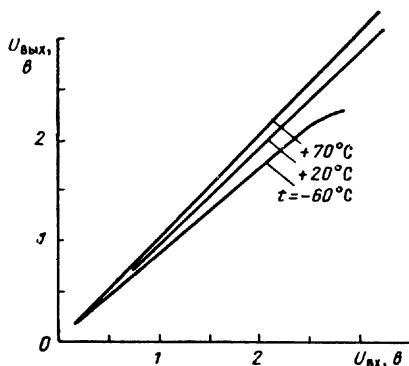


Рис. П.1.58. Амплитудная характеристика $U_{\text{вых}}/f=f(U_{\text{вх}})$ при $F_n=20$ кГц, $R_n=2$ ком, $C_n=150$ пф.

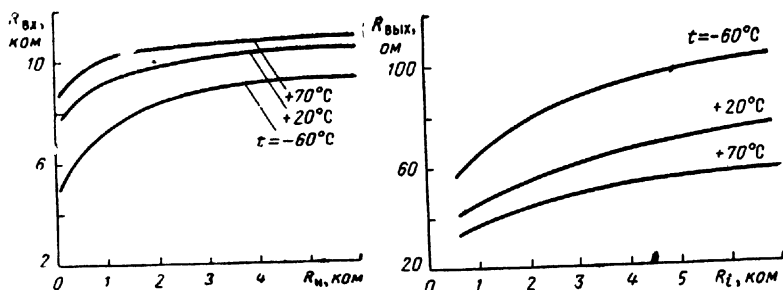


Рис. П.1.59. Зависимости $R_{вх}=f(R_n)$ и $R_{вых}=f(R_g)$ при $F_n=20$ кГц, $C_n=150$ пф, $U_{вх}=1$ в.

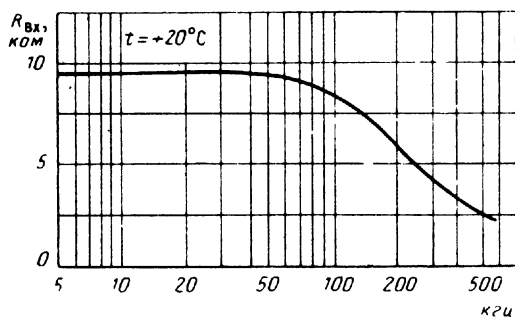


Рис. П.1.60. Зависимость $R_{вх}=f(F)$ при $R_n=2$ ком, $C_n=150$ пф, $R_g=6,8$ ком, $U_{вх}=1$ в.

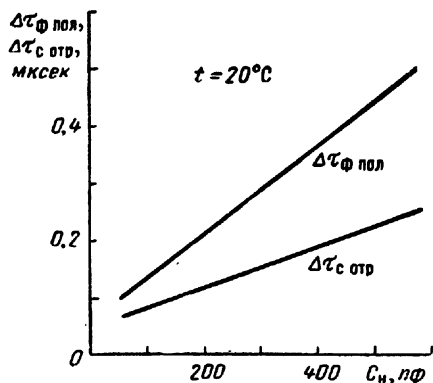


Рис. П.1.61. Изменение длительностей фронта и спада положительного и отрицательного импульсов в зависимости от емкости нагрузки при $F_n=20$ кГц, $R_n=2$ ком, $U_{вх}=3$ в.

II. Синусоидальное напряжение

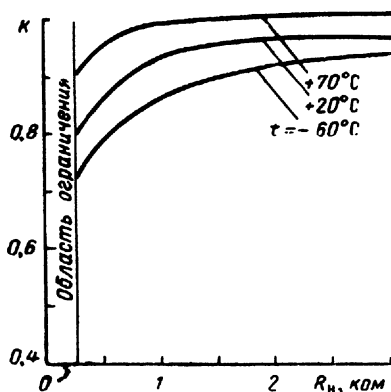


Рис. П.1.62. Нагрузочные характеристики $K=f(R_n)$ при $f=100 \text{ кгц}$, $C_n=150 \text{ пф}$, $U_{вх}=0,5 \text{ в}$.

Рис. П.1.63. Амплитудные характеристики $U_{вых} = f(U_{вх})$ при $f=100 \text{ кгц}$, $R_n=2 \text{ ком}$, $C_n=150 \text{ пф}$.

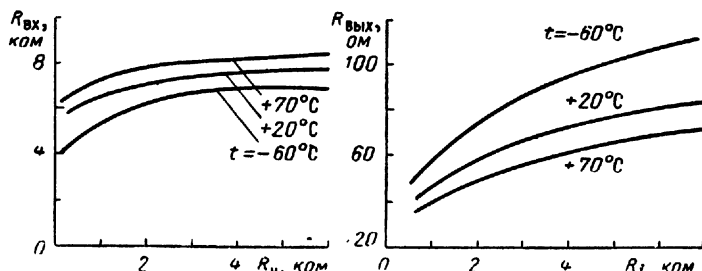
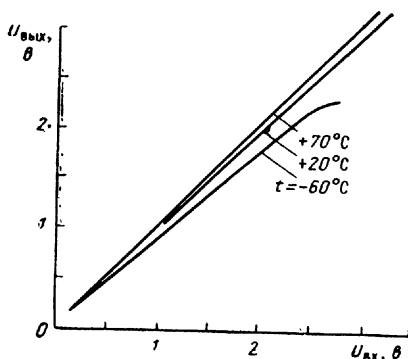


Рис. П.1.64. Зависимости $R_{вых}=f(R_n)$ и $R_{вых}=f(R_L)$ при $f=100 \text{ кгц}$, $C_n=150 \text{ пф}$, $U_{вх}=1 \text{ в}$.

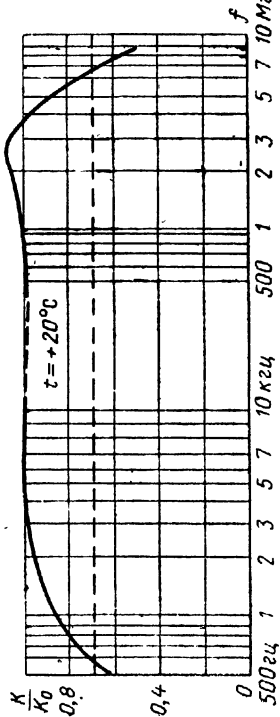


Рис. П.1.65. Частотная характеристика $\bar{K} = \varphi(f)$ при $R_i = 100 \text{ ом}$, $R_n = 2 \text{ ком}$, $C_n = 150 \text{ пф}$, $U_{вх} = 0,5 \text{ в}$.

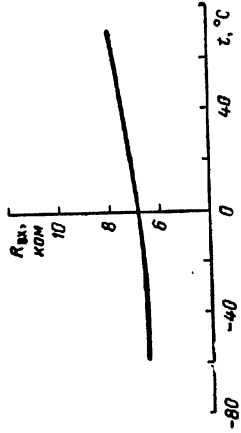


Рис. П.1.67. Зависимость $R_{вх} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{вх} = 1 \text{ в}$, $f = 100 \text{ кГц}$, $R_n = 2 \text{ ком}$, $C_n = 150 \text{ пф}$.

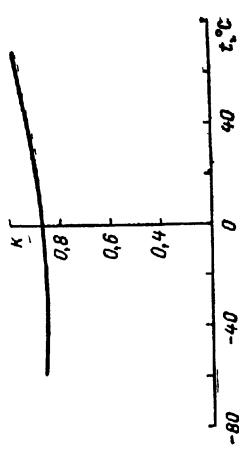


Рис. П.1.66. Зависимость $K = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{вх} = 2 \text{ в}$, $f = 100 \text{ кГц}$, $R_n = 2 \text{ ком}$, $C_n = 150 \text{ пф}$.

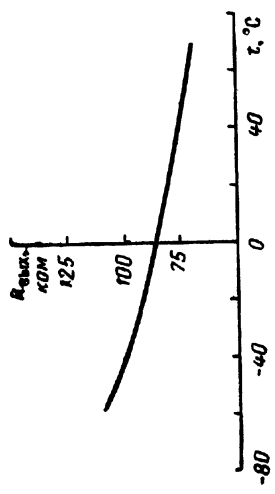


Рис. П.1.68. Зависимость $R_{вых} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{вх} = 1 \text{ в}$, $f = 100 \text{ кГц}$, $R_i = 6,8 \text{ ком}$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЕЙ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ ВУ-01, ВУ-03, ВУ-04, УИ-02

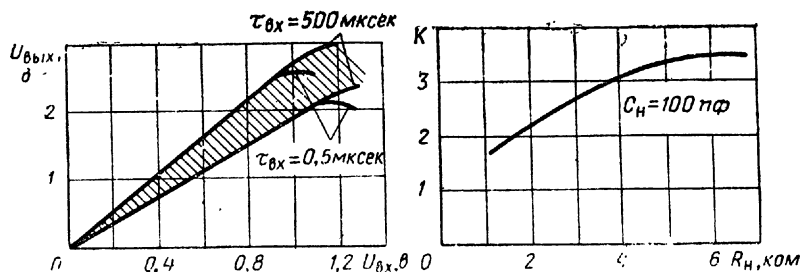


Рис. П.2.1. Зависимости $U_{вых} = f(U_{вх})$ при граничных параметрах и $K = f(R_n)$ микромодуля ВУ-01.

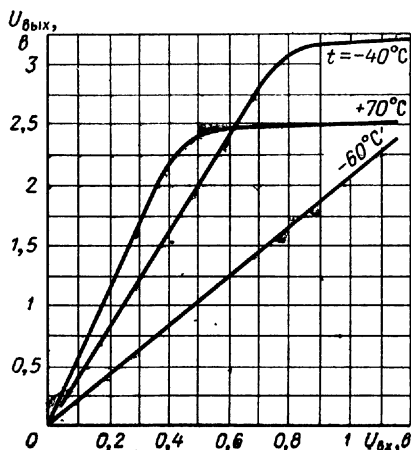


Рис. П.2.2. Зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$ микромодуля ВУ-03.

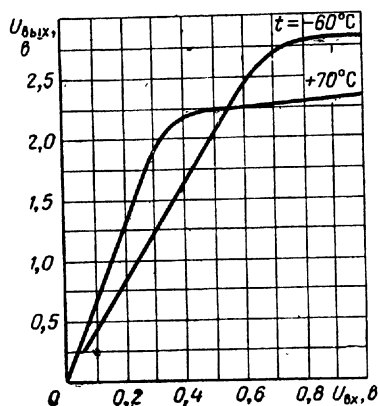


Рис. П.2.3. Зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$ микромодуля ВУ-04.

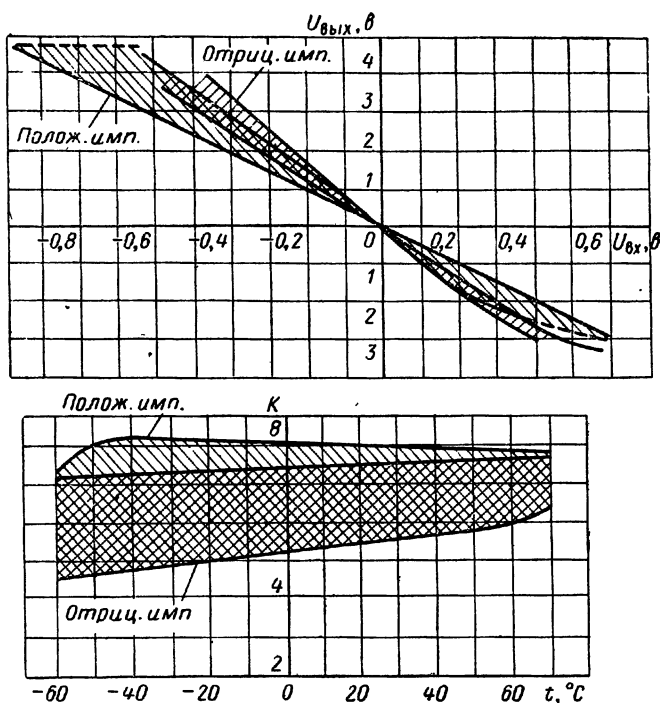


Рис. П.2.4. Зависимости $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$ и $K=f(t, ^\circ\text{C})$ микромодуля УИ-02.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖДУЩИХ БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОРОВ БЖ-00—БЖ-03

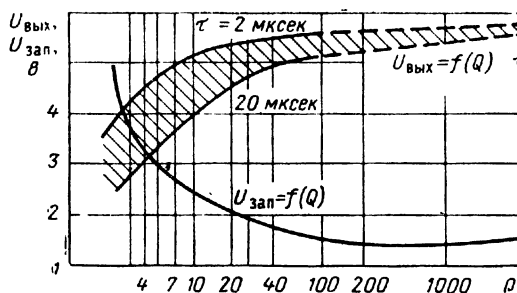


Рис. П.2.5. Зависимости $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{зап}}$ от скважности Q микромодулей БЖ-00 и БЖ-01.

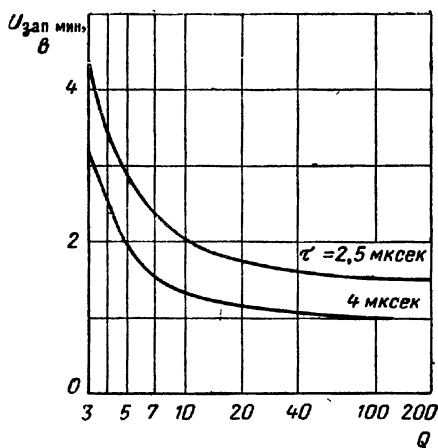


Рис. П.2.6. Зависимость $U_{\text{зап мин}} = f(Q)$ микромодулей БЖ-00 и БЖ-01.

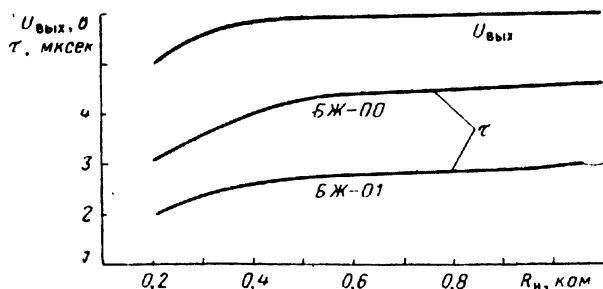


Рис. П.2.7. Зависимости τ , $U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ микромодулей БЖ-00 и БЖ-01.

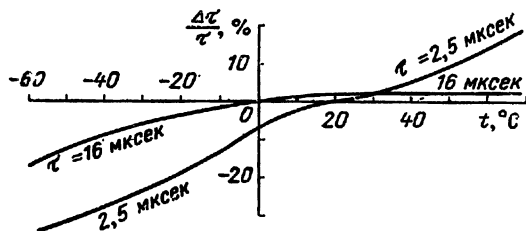


Рис. П.2.8. Зависимость $\Delta\tau/\tau = f(t, ^\circ\text{C})$ микромодулей БЖ-00 и БЖ-01.

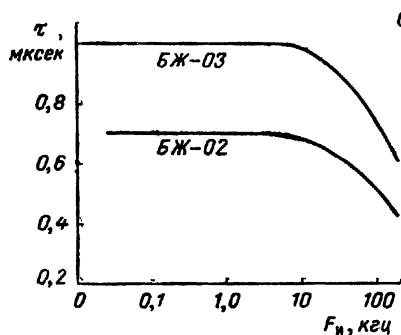


Рис. П.2.9. Зависимость $\tau = f(F_n)$ микромодулей БЖ-02 и БЖ-03.

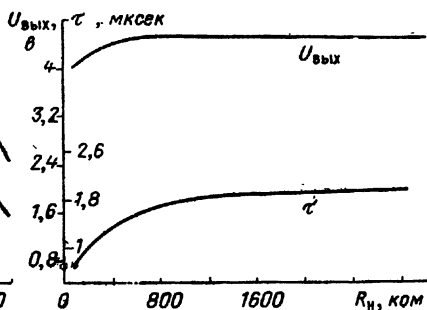


Рис. П.2.10. Зависимости $U_{\text{вых}}$ и $\tau = f(R_n)$ микромодуля БЖ-03.

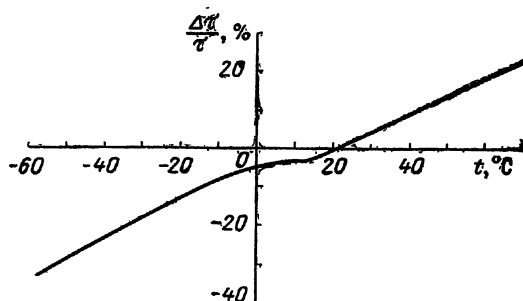
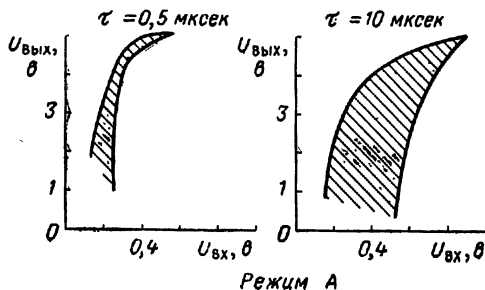


Рис. П.2.11. Зависимость $\Delta\tau/\tau = f(t, ^\circ\text{C})$ микромодулей БЖ-02 и БЖ-03.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЕЙ-ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ВФ-04—ВФ-06



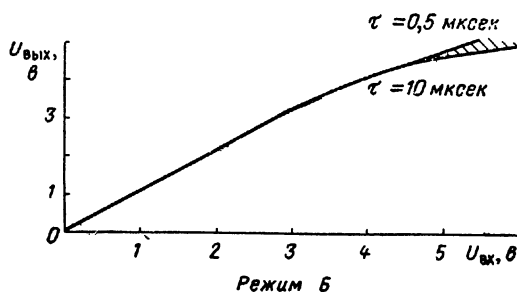


Рис. П.2.12. Амплитудные характеристики микро модуля ВФ-04.

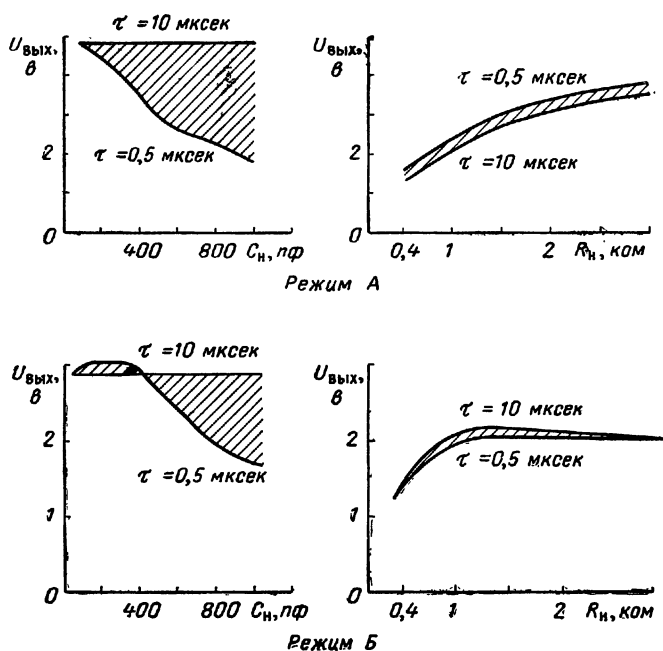


Рис. П.2.13. Зависимости $U_{\text{вых}} = f(C_n)$ и $U_{\text{вых}} = f(R_n)$ при $U_{\text{вх}} = 2$ в микро модуля ВФ-04.

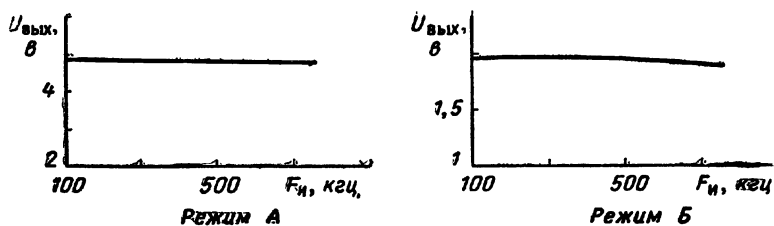


Рис. П.2.14. Зависимость $U_{\text{вых}} = \varphi(F_{\text{н}})$ при $U_{\text{вх}} = 2 \text{ В}$, $\tau = 0,5 \text{ мксек}$ микромодуля ВФ-04.

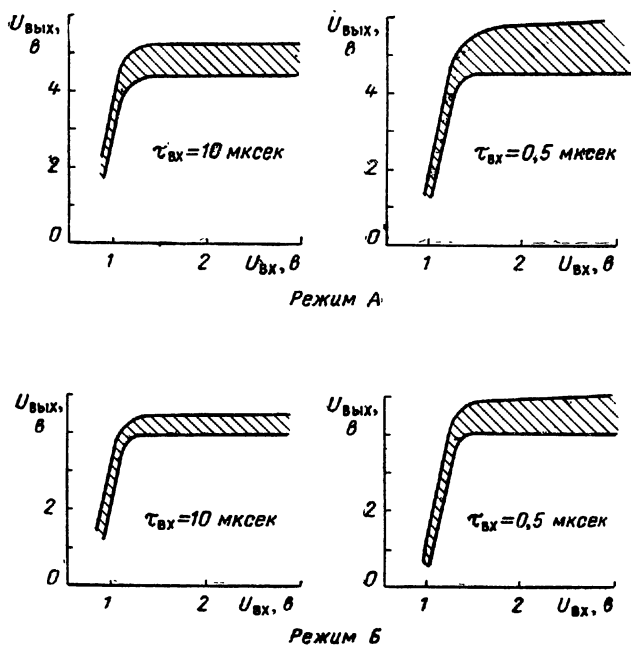


Рис. П.2.15. Амплитудные характеристики микромодуля ВФ-05.

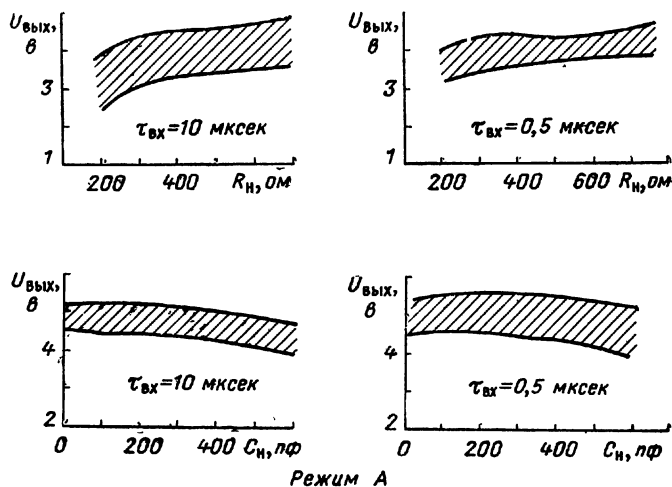


Рис. П.2.16. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(R_H)$ при $C_H = 200 \text{ пф}$ и $U_{\text{вых}} = f(C_H)$ при $R_H = 1 \text{ ком}$ микромодуля ВФ-05.

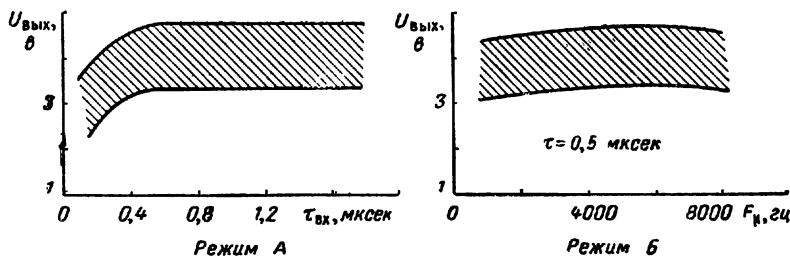


Рис. П.2.17. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(\tau_{\text{вх}})$ микромодуля ВФ-05

Рис. П.2.18. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(F_H)$ микромодуля ВФ-06.

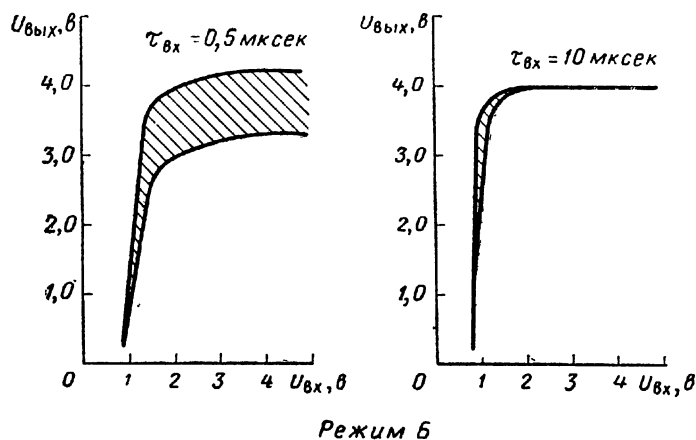
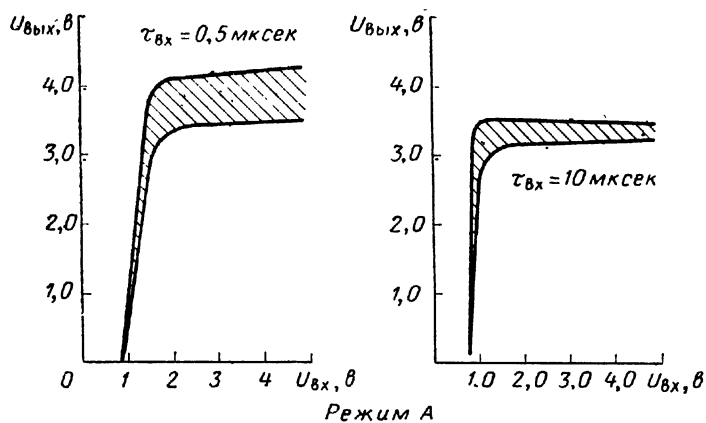


Рис. П.2.19. Амплитудные характеристики микромодуля ВФ-06.

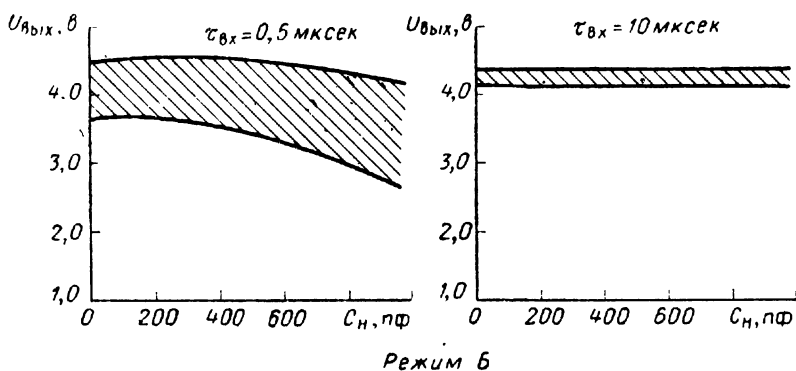
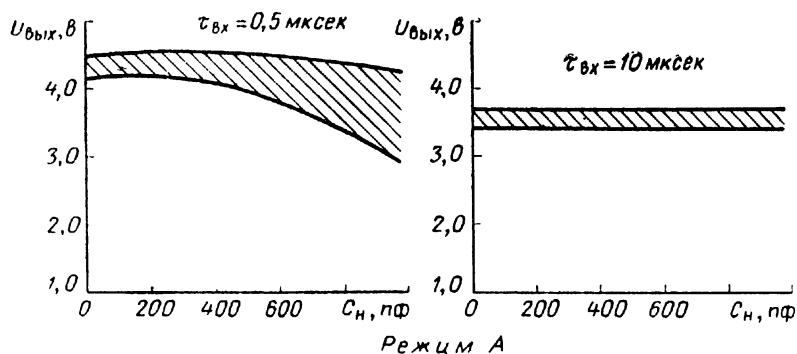


Рис. П.2.20. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(C_{\text{н}})$ микромодуля ВФ-06.

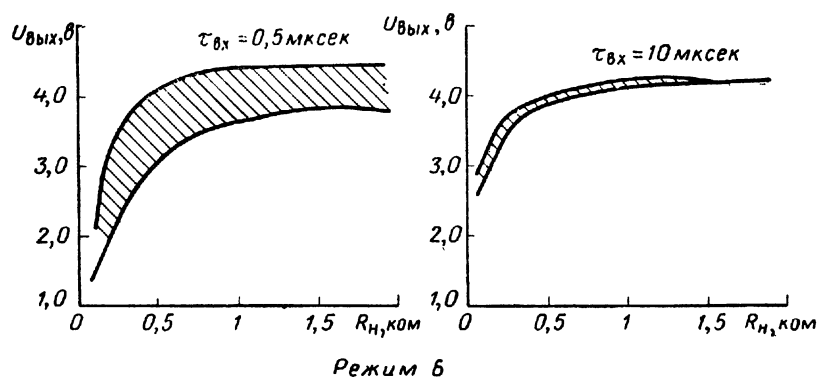
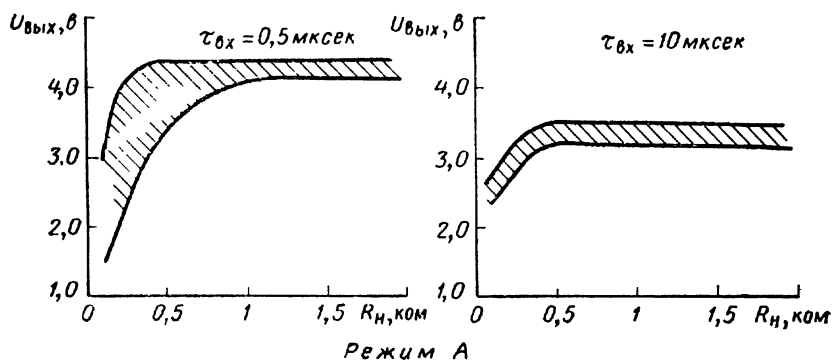


Рис. П.2.21. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ микромодуля ВФ-06.

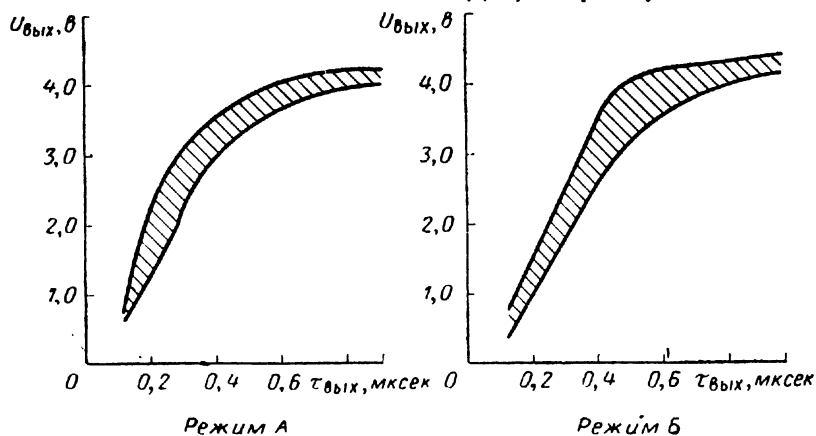


Рис. П.2.22. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(\tau_{\text{вых}})$ микромодуля ВФ-06.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЕЙ ДЛЯ УНЧ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КАСКАДА УНЧ У1-1

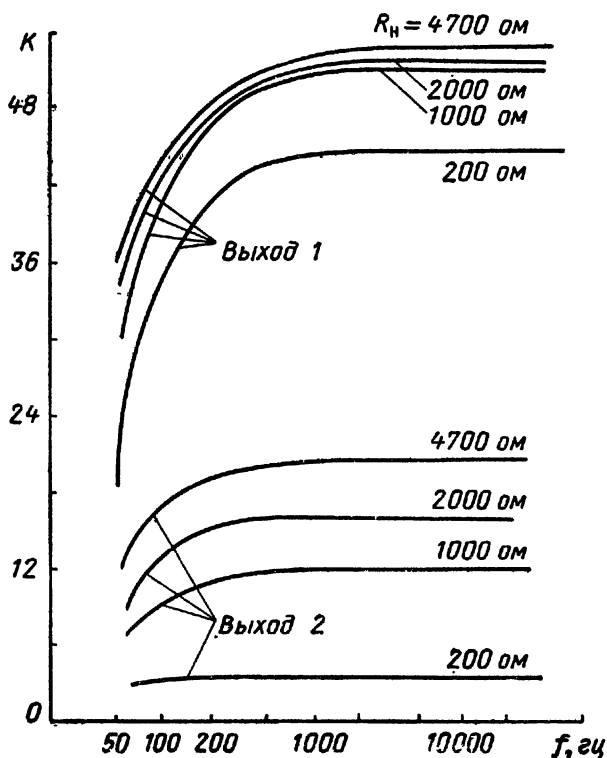


Рис. П.3.1. Зависимость $K=\varphi(f)$ при различных сопротивлениях нагрузки.

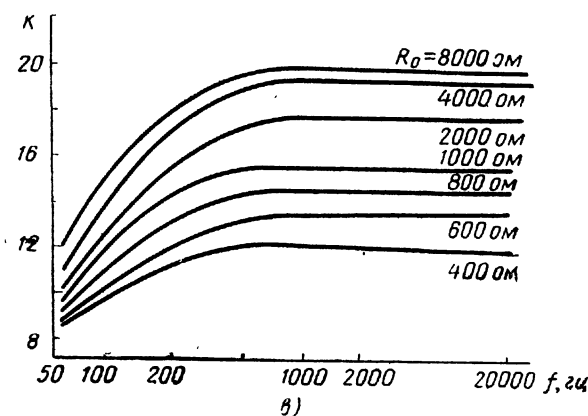
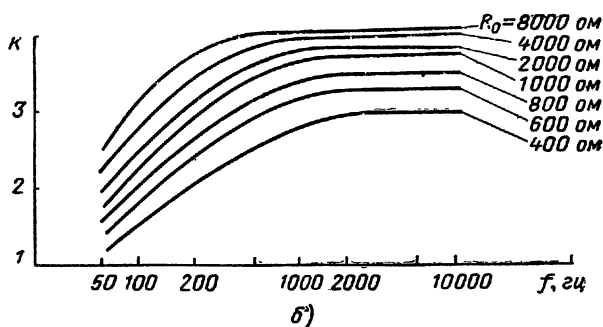
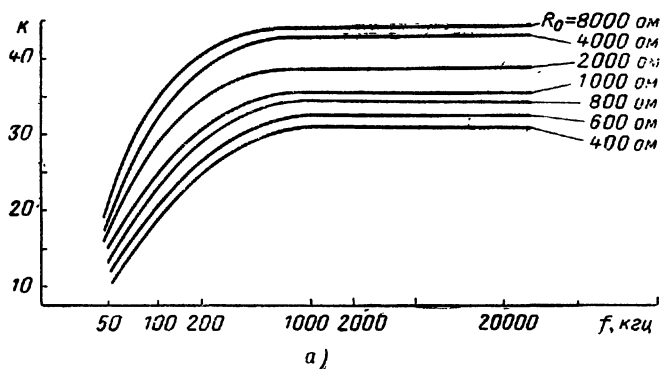


Рис. П.3.2. Зависимость $K=\varphi(f)$ при различных сопротивлениях R_0 : а) $R_{n1}=200$ ом; б) $R_{n2}=200$ ом; в) $R_{n2}=4,7$ ком.

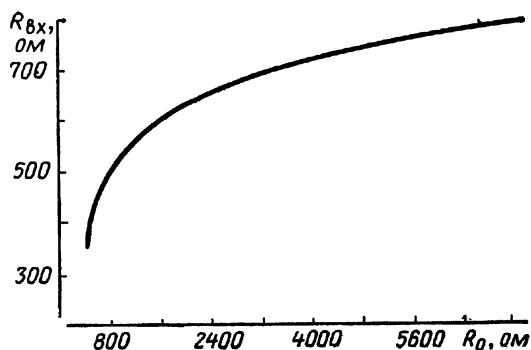


Рис. П.3.3. Зависимость $R_{вх} = f(R_0)$ при $C_0 = 10 \text{ мкф}$, $R_{н1} = 4,7 \text{ ком}$ и $F = 1000 \text{ гц}$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА УНЧ У2-1

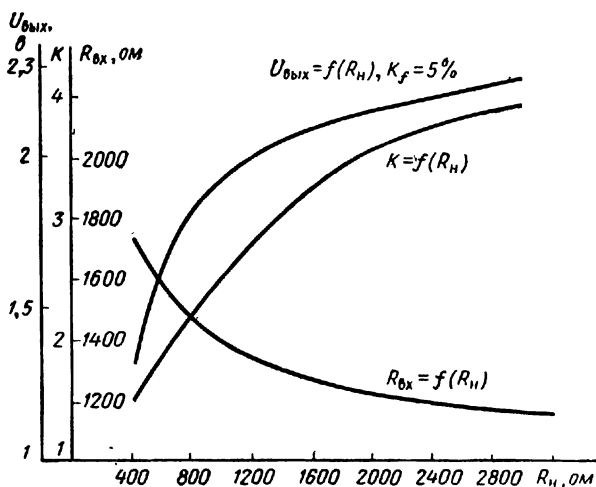


Рис. П.3.4. Зависимости $U_{вых}$, K , $R_{вх} = f(R_н)$ при $C_н = 10 \text{ мкф}$ и $R_{г1} = 1600 \text{ ом}$.

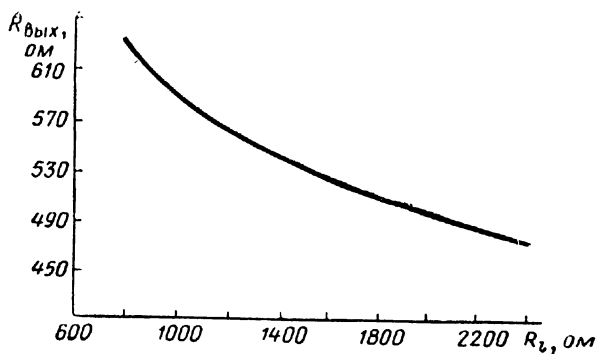


Рис. П.3.5. Зависимость $R_{\text{вых}} = f(R_L)$ при $R_H = 600$ ом и $C_H = 10$ мкф.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО (ОКОНЕЧНОГО) КАСКАДА УНЧ-2

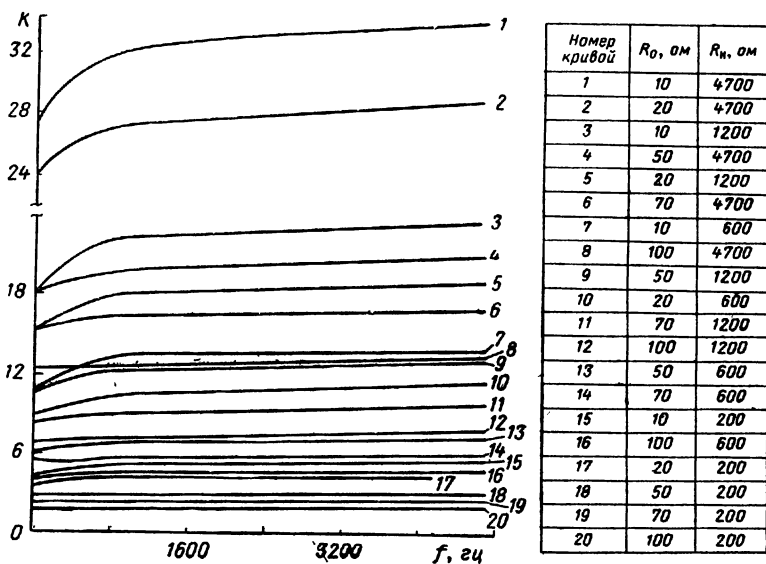


Рис. П.3.6. Зависимость $K = \varphi(f)$ при различных значениях R_0 и R_H .

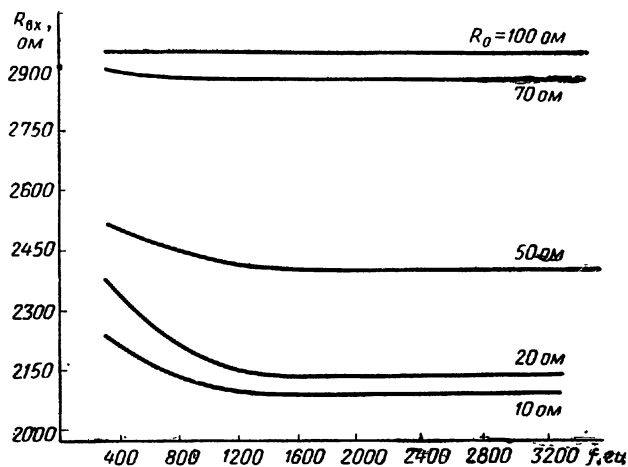


Рис. П.3.7. Зависимость $R_{\text{вых}} = \varphi(f)$ при $R_{\text{н}} = 4,7$ ком и различных значениях сопротивления R_0 .

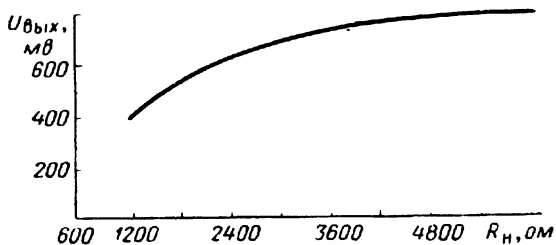


Рис. П.3.8. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ при $K_f = 5\%$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОМОДУЛЕЙ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЕЙ ЗАПИСИ И СЧИТЫВАНИЯ

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ УИ-03—УИ-05, УИ-08

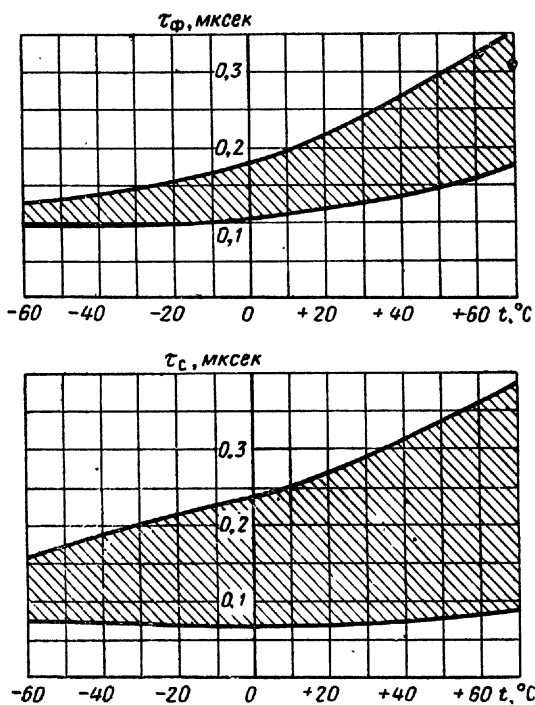


Рис. П.4.1. Зависимости τ_{ϕ} , $\tau_{\text{с}} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $U_{\text{вх}} = 6$ в и $E = -12,6$ в микромодуля УИ-03.

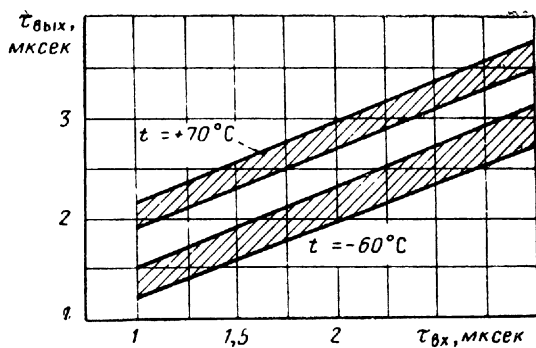


Рис. П.4.2. Зависимость $\tau_{\text{вых}} = f(\tau_{\text{вх}})$ при $E = -6,3$ в микромодуля УИ-03.

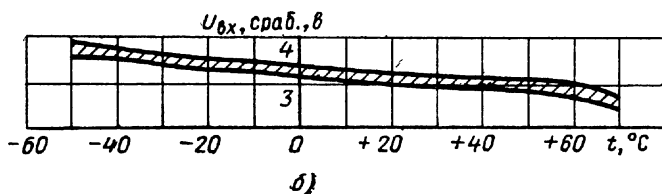
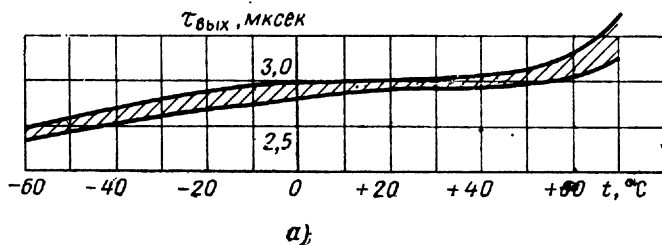


Рис. П.4.3. Зависимости $\tau_{\text{вых}}$, $U_{\text{вых ср.б.}} = f(t, ^\circ\text{C})$ микромодуля УИ-04:

а — при $U_{\text{вх}} = -6$ в, $\tau_{\text{вх}} = 3$ мксек; б — при $R_{\text{н}} = 240 \text{ ом} \pm 5\%$, $E = -6,3$ в.

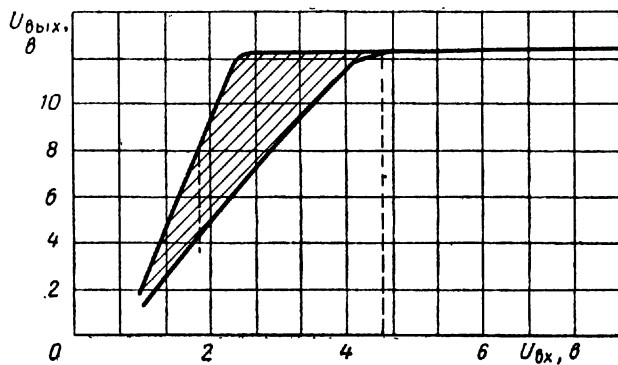


Рис. П.4.4. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $\tau_{\text{вх}} = 1$ мксек и $E = +12,6$ в микромодуля УИ-05.

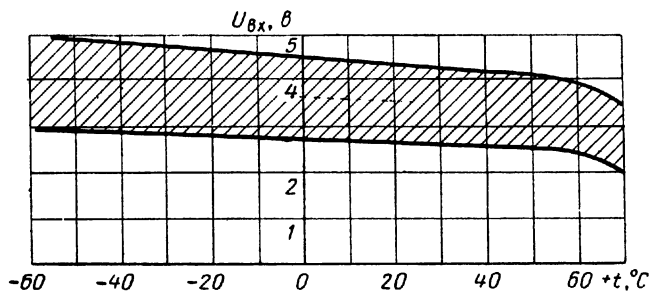


Рис. П.4.5. Зависимость $U_{\text{вх}} = f(t, ^\circ\text{C})$ при $\tau_{\text{вх}} = 1$ мксек, $R_{\text{н}} = 240$ ом, $E = +12,6$ в микромодуля УИ-05.

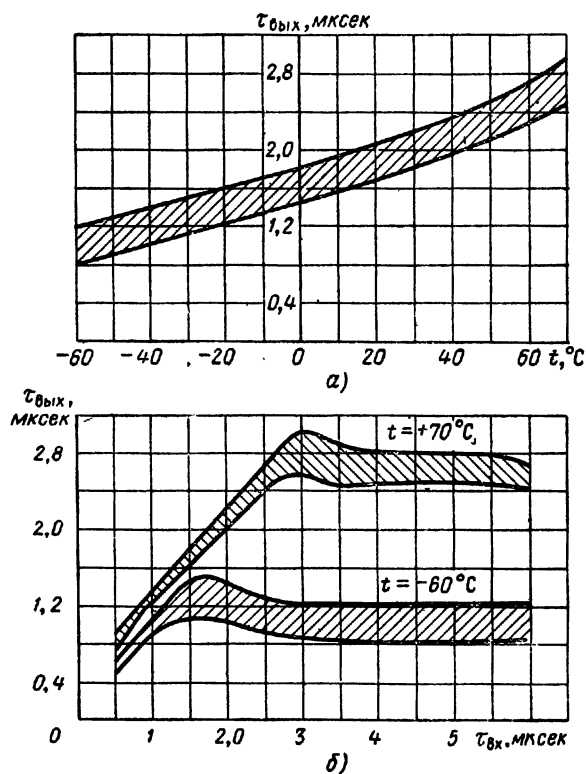


Рис. П.4.6. Зависимости $\tau_{\text{вых}} = f(t, ^{\circ}\text{C})$ и $\tau_{\text{вых}} = f(\tau_{\text{вх}})$ при $U_{\text{вх}} = 6 \text{ в}$, $\tau_{\text{вх}} = 3 \text{ мксек}$ и $E = +6,3 \text{ в}$ микро модуля УИ-08.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ОГ-00

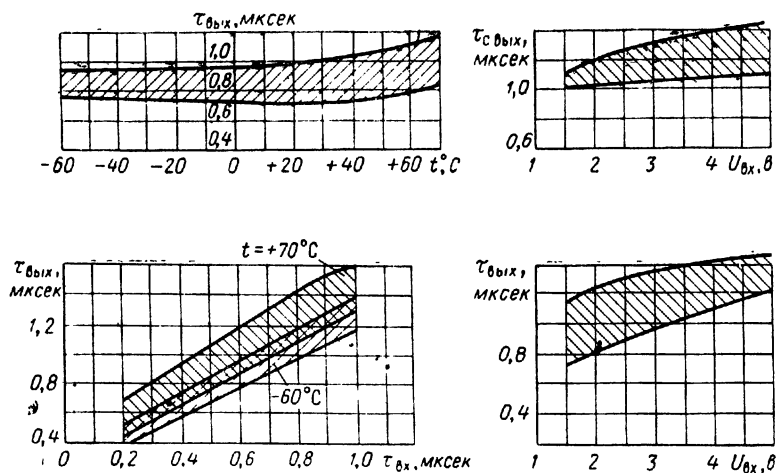


Рис. П.4.7. Зависимости $\tau_{вых} = f(t, ^\circ\text{C}; \tau_{вх}, U_{вх})$ и $\tau_{с_вых} = f(U_{вх})$ при $U_{вх} = 1,5$ в, $\tau_{вх} = 0,6$ мксек, $R_H = 1,2$ ком, $E = -6,3$ в.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ИО-00

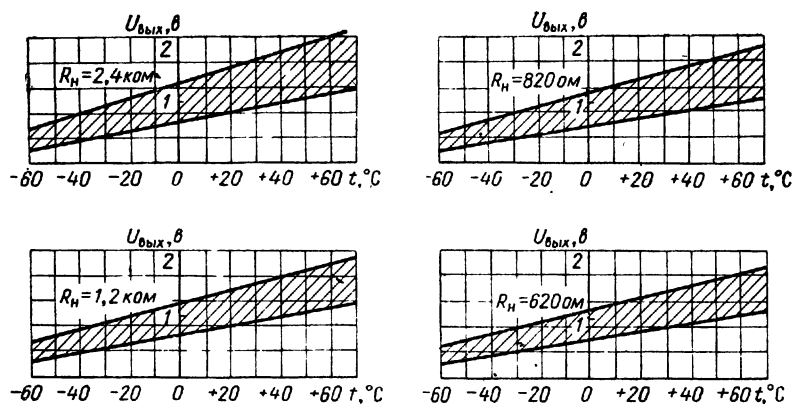


Рис. П.4.8. Зависимости $U_{вых} = f(t, ^\circ\text{C})$ для различных сопротивлений нагрузки.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНВЕРТОРА-ПОВТОРИТЕЛЯ ИП-00

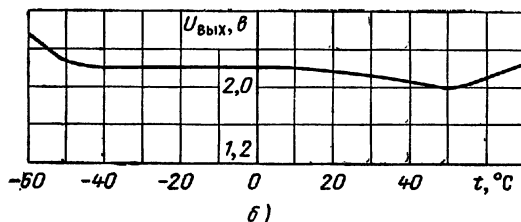
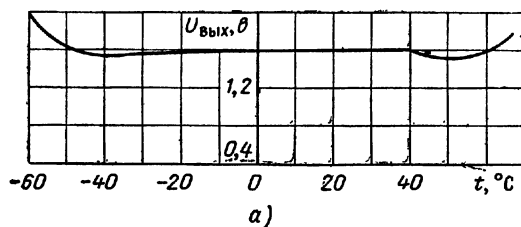


Рис. П.4.9. Зависимость $U_{\text{вых}} = f(t, ^\circ\text{C})$:
 а) $E = -6,3$ в, $U_{\text{вх}} = 2$ в; б) $E = -12,6$ в, $U_{\text{вх}} = 2,3$ в,
 $\tau_{\text{вх}} = 1$ мксек.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРА РАЗВЯЗКИ ФР-00

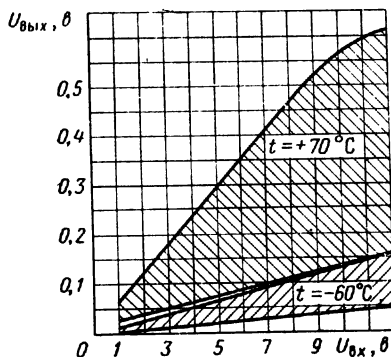
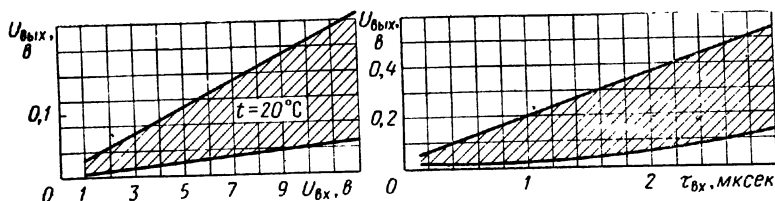


Рис. П.4.10.
 Зависимости
 $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}}, \tau_{\text{вх}})$ при
 $U_{\text{вх}} = 12$ в,
 $\tau_{\text{вх}} = 1$ мксек,
 $F_{\text{н}} = 50$ кГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барканов Н. А., Бриллиант А. Л. О терминологии в области миниатюризации, «Обмен опытом в радиопромышленности», 1966, № 10.
2. Барканов Н. А. Микроминиатюризация электронной аппаратуры. Изд. ВДНХ, 1965.
3. Белевцев А. Т. Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Изд-во «Энергия», 1965.
4. Варламов Р. Г. Компоновка радио- и электронной аппаратуры. Изд-во «Советское радио», 1966.
5. Гусев В. П., Фомин А. В., Кунявский Г. М. и др. Расчет электрических допусков радиоэлектронной аппаратуры. Изд-во «Советское радио», 1963.
6. Гусев В. П. Производство радиоаппаратуры. Изд-во «Высшая школа», 1964.
7. Гусев В. П. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры. Изд-во «Советское радио», 1961.
8. Мартюшов К. И., Зайцев Ю. В. Резисторы. Изд-во «Энергия», 1966.
9. Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Пер. с англ. под ред. Тудоровского А. А. Судпромгиз, 1962.
10. Микроэлектроника. Пер. с англ., под ред. Богородицкого Н. П. Изд-во «Советское радио», 1966.
11. Миниатюризация и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Пер. с англ., под ред. Барканова Н. А. и Лихачева М. С. Изд-во «Мир», 1965.
12. Ушаков Н. И. Технология элементов вычислительных устройств. Изд-во «Высшая школа», 1966.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятности. Физматгиз, 1962.
14. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. Изд-во «Наука», 1965.
15. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. Изд-во «Советское радио», 1962.
16. Шор Я. Б. Курс лекций «Прикладные вопросы теории надежности». Изд-во «Знание», 1966.
17. Кузнецов В. А. Основные вопросы надежности радиоэлектронной аппаратуры. Изд-во «Энергия», 1965.
18. Астафьев А. В. Окружающая среда и надежность радиотехнической аппаратуры. Госэнергоиздат, 1959.

19. Дунин-Барновский И. В., Смирнов Н. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. Физматгиз, 1959.
20. Базовский И. Теория и практика. Изд-во «Мир», 1965. Теория надежности в области радиоэлектроники. Терминология, под ред. В. И. Сифорова. Изд-во АН СССР, 1962.
21. Ллойд Д., Липов М. Надежность. Пер. с англ., под ред. Н. П. Бусленко. Изд-во «Советское радио», 1964.
22. Лукомский Я. И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. Госстатиздат, 1961.
23. Ильинский В. С. Вопросы изоляции вибраций и ударов. Изд-во «Советское радио», 1960.
24. Шишенок Н. А., Репкин В. Ф., Барвинский Л. Л., Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. Изд-во «Советское радио», 1964.
25. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности. Изд-во «Советское радио», 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Функционально-узловой метод конструирования	8
I.1. Преимущества функционально-узлового метода .	8
I.2. Порядок разработки функциональных узлов (модулей)	11
I.3. Требования к конструкции модулей	13
Глава II. Направления микроминиатюризации	16
II.1. Терминология	19
II.2. Сравнение микроминиатюрных конструкций . .	26
Глава III. Конструкция микромодулей	30
III.1. Типы микромодулей	30
III.2. Преимущества этажерочных микромодулей как системы дискретных элементов	34
III.3. Микромодульная терминология	36
III.4. Выбор конструкции микромодулей	38
III.5. Перспективность конструкции микромодуля . .	44
Глава IV. Микроэлементы	46
IV.1. Микроплаты	48
IV.2. Резисторы	50
IV.3. Конденсаторы	56
IV.4. Катушки индуктивности	61
IV.5. Трансформаторы	64
IV.6. Кварцевые резонаторы	71
IV.7. Микродиоды	73
IV.8. Микротранзисторы	77
IV.9. Элементы в микромодульном исполнении . .	85
Глава V. Этажерочные микромодули	103
V.1. Общие требования	103
V.2. Микромодули общего применения	109
V.3. Аппаратура для контроля параметров микромодулей	241
	413

Глава VI. Конструирование микромодулей	245
VI.1. Последовательность разработки микромодулей	245
VI.2. Конструирование микромодулей	246
VI.3. Основные требования к конструкции микромодулей	257
VI.4. Виды конструкций микромодуля	259
VI.5. Маркировка микромодулей	260
VI.6. Правила оформления чертежей	260
VI.7. Схема сборки	261
VI.8. Расчет положения микроэлементов	263
VI.9. Доработка принципиальной электрической схемы	266
VI.10. Расчет габаритных размеров микромодулей	266
Глава VII. Конструирование микромодульных блоков	270
VII.1. Особенности конструирования микромодульных блоков	272
VII.2. Общие технические требования	275
VII.3. Классификация микромодульных блоков по методу установки микромодулей и конструкции узлов	276
VII.4. Основные конструктивные элементы микромодульных блоков	282
VII.5. Варианты конструкций микромодульных блоков	300
VII.6. Защита микромодульных блоков от воздействия климатических факторов	304
VII.7. Температурные режимы микромодульных блоков	305
VII.8. Термоэлектрическое охлаждение	309
VII.9. Эффективность применения микромодулей	311
Глава VIII. Технология изготовления микромодулей	313
VIII.1. Входной контроль и комплектация микроэлементами	313
VIII.2. Сборка и пайка микромодулей	316
VIII.3. Герметизация микромодулей	317
VIII.4. Тренировка микромодулей	321
Глава IX. Технология изготовления микромодульных блоков	323
IX.1. Изготовление микромодульных узлов	323
IX.2. Изготовление микромодульных блоков	329
Глава X. Надежность микромодулей	334
X.1. Общие положения теории надежности	334
X.2. Показатели надежности микромодулей	336
X.3. Закон распределения времени безотказной работы микромодулей	340
X.4. Закон распределения выходных параметров микромодулей	344

Х.5. Факторы, влияющие на надежность микромодулей	348
Х.6. Пути повышения надежности микромодулей . . .	356
<i>Приложение 1. Характеристики эмиттерных повторителей ЭП-00—ЭП-08</i>	<i>372</i>
<i>Приложение 2. Характеристики микромодулей для импульс- ных устройств</i>	<i>390</i>
<i>Приложение 3. Характеристики микромодулей для УНЧ</i>	<i>400</i>
<i>Приложение 4. Характеристики микромодулей для уси- лителей записи и считывания</i>	<i>405</i>
Л и т е р а т у р а	411

„КОНСТРУИРОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ“

Под редакцией Н. А. Барканова

Редактор Г. И. Козырева

Художественный редактор В. Т. Сидоренко

Технический редактор З. Н. Ратникова

Корректоры Н. М. Белякова, О. П. Трушкова

Сдано в набор 5. II. 1968 г.	Подписано к печати 28. V. 1968 г.	Т-08434
Бумага типографская № 2	Цена 1 р. 18 к.	Формат 84×108/32
Объем 21,84 усл. п. л.	Уч. изд. 20,053 л.	Тираж 21 500 экз. Зак. 1085
Издательство „Советское радио“, Москва, Главпочтамт, п/я 693		

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

