

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ  
И СИСТЕМЫ**

2002 май № 5 (57)

МАССОВЫЙ  
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ



**Учредитель и издатель:**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ  
ФИРМА **VD MAIS**

Зарегистрирован  
Министерством информации  
Украины 24.07.96 г.  
Свидетельство о регистрации  
серия КВ № 2081Б  
Издается с мая 1996 г.  
Подписной индекс 40633

**Главный редактор:**  
В.А. Романов

**Зам. главного редактора:**  
А.В. Ермолович

**Редакционная коллегия:**

В.В. Гирич  
В.А. Давиденко  
Н.Б. Малиновский  
Г.Д. Местечкина  
В.А. Тодосийчук  
С.Б. Яковлев

**Набор:**  
Е.М. Шелест

**Верстка:**  
М.С. Заславская

**Дизайн:**  
А.А. Чабан,  
М.С. Заславская

**Адрес редакции:**  
Украина, Киев,  
ул. Жилианская, 29  
**Тел.:** (044) 227-2262, 227-1356  
**Факс:** (044) 227-3668  
**E-mail:** info@vdmals.kiev.ua  
**Интернет:** www.vdmals.kiev.ua

**Адрес для переписки:**  
Украина, 01033, Киев, а/я 942

Цветоделение и печать  
ДП "Такі справи"  
т./ф.: 446-2420

Подписано к печати 24.05.2002  
Формат 60x84/8  
Тираж 1000 экз.  
Зак. № 205-107-1408

**СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ**

Микропроцессоры, однокристалльные микро-ЭВМ,  
микроконтроллеры... ..... 3  
16-разрядные микроконтроллеры MSP430F ..... 13

**УСИЛИТЕЛИ**

Мостовой усилитель класса D AD1991 ..... 18

**ПОВЕРХНОСТНЫЙ МОНТАЖ**

Краткий справочник по монтажу печатных плат ..... 19

**КОНКУРС: ЛУЧШАЯ РАЗРАБОТКА ГОДА**

Преобразователь аналогового видеосигнала  
в сигналы цифрового интерфейса ЖК-панелей ..... 31

**ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**

DC/DC преобразователи для устройств телекоммуникаций ... 32

**КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ**

Современные счетчики электроэнергии ..... 34  
Анализаторы спектра  
производства фирмы HAMEG Instruments ..... 43

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

В странах ЕС вводятся новые нормы взрывобезопасности ..... 45  
Спрос на персональные компьютеры продолжает падать ..... 45  
Новый стандарт для распределенных систем управления ..... 46  
32-разрядные сигнальные процессоры  
фирмы Analog Devices ..... 47

**ВЫСТАВКИ** ..... 48

Перепечатка опубликованных в журнале материалов допускается с разрешения редакции.  
За рекламную информацию ответственность несет рекламодатель.



## CONTENTS

### DSPs AND MICROCONTROLLERS

<i>Microprocessors, Single-Chip Microcomputers, Microcontrollers</i> .....	3
<i>16-bit Microcontroller Family MSP430F</i> .....	13

### AMPLIFIERS

<i>Class D Bridge Power Amplifier AD1991</i> .....	18
--	----

### SURFACE MOUNT TECHNOLOGY

<i>The Quick Reference for Solder Assembly</i> .....	19
--	----

### BEST DESIGN ANNUAL CONTEST

<i>Analog Front End for LCD Panels</i> .....	31
--	----

### POWER SUPPLIES

<i>DC/DC Converters for Telecommunications</i> .....	32
--	----

### CONTROL AND AUTOMATION

<i>Contemporary Energy Meters</i> .....	34
<i>HAMEG Instruments` Spectrum Analyzers</i> .....	43

### NEWS BRIEFS

<i>New European Explosion Protection Regulations Soon Come into Force</i> .....	45
<i>Demand for PCs Continue to Recede</i> .....	45
<i>New Standard for Distributed Automation</i> .....	46
<i>Analog Devices` 32-bit DSPs</i> .....	47

<i>EXHIBITIONS</i> .....	48
--------------------------	----

Reproduction of text and illustrations  
is not allowed without written permission.

ЭКНС

№ 5, МАИ 2002



## ELECTRONIC COMPONENTS AND SYSTEMS

May 2002  
No 5 (57)

Monthly  
Scientific and Technical  
Journal

**Founder and Publisher:**  
Scientific-Production Firm  
**VD MAIS**

**Director**  
V.A. Davidenko

**Head Editor**  
V.A. Romanov

**Managing Editor**  
A.V. Yermolovich

**Editorial Board**  
V.V. Girich  
V.A. Davidenko  
N.B. Malynovskyy  
G.D. Mestechkina  
V.A. Todosiychuk  
S.B. Yakovlev

**Type and setting**  
E.M. Shelest

**Layout**  
M.S. Zaslavskaya

**Design**  
A.A. Chaban,  
M.S. Zaslavskaya

**Address:**  
Zhilyanska St. 29, P.O. Box 942,  
01033, Kyiv, Ukraine

**Tel.:**  
(380-44) 227-2262  
(380-44) 227-1356

**Fax:**  
(380-44) 227-3668

**E-mail:**  
info@vdm.kiev.ua

**Web address:**  
www.vdm.kiev.ua

Printed in Ukraine



Информацию о наличии компонентов, оборудования и материалов на складе НПФ VD MAIS можно получить в сети Интернет по адресу: <http://www.vdm.kiev.ua>, e-mail: [info@vdm.kiev.ua](mailto:info@vdm.kiev.ua), факс: (044) 227-3668.

## МИКРОПРОЦЕССОРЫ, ОДНОКРИСТАЛЬНЫЕ МИКРОЭВМ, МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ...

*В статье приведены краткие сведения об архитектуре и особенностях современных микроконтроллеров.*

**В. Охрименко**

В настоящее время все современные системы автоматизации и контроля обязательно содержат средства вычислительной техники (интегральные микросхемы микропроцессоров, микроконтроллеров, сигнальных процессоров и т. п.), которые служат мозговым центром и базовыми элементами любой интеллектуальной системы управления. На сегодняшний день в мире выпущено несколько миллиардов микросхем микроконтроллеров.

Системы сбора данных и управления технологическими процессами, интеллектуальные датчики, счетчики расхода электрической энергии и воды, средства телекоммуникаций, контроллеры систем электропитания, интеллектуальный электропривод и преобразователи частоты, измерительные приборы разного назначения, контроллеры бытовых приборов, источники бесперебойного питания – вот лишь начало бесконечного перечня примеров применения средств вычислительной техники [1-9].

Пожалуй, основная причина, стимулирующая появление микроконтроллеров – внедрение средств вычислительной техники во все сферы человеческой деятельности. Это потребовало миниатюризации и снижения стоимости изделий. Прогресс же в технологии изготовления микросхем в значительной мере способствовал этому процессу.

Первый электронный калькулятор (1963 г.) был реализован на дискретных транзисторах и занимал объем кассового аппарата.

В 1967 г. фирма Texas Instruments выпустила первый калькулятор на интегральных микросхемах, который и положил начало процессу миниатюризации средств вычислительной техники. Однако микросхемы для калькуляторов создавались применительно к требованиям каждого конкретного заказчика. Процессоры для калькуляторов были маломощными и не отвечали требованиям, предъявляемым к вычислительным средствам.

Работая по заказу одной из японских фирм над разработкой программируемых калькуляторов, специалисты фирмы Intel предложили новую концепцию проектирования микропроцессоров, которая заключалась в создании микропроцессоров общего назначения, способных выполнять любые арифметико-логи-

ческие операции. В 1969 г. фирмой Intel была анонсирована первая в мире специализированная интегральная микросхема Intel 4004 (промышленный серийный выпуск с 1971 г.), которая, по сути, являлась 4-разрядным программируемым микропроцессором. Микропроцессор Intel 4004 содержал около 2250 транзисторов и мог выполнять примерно 60 тыс. операций в секунду. Производительность Intel 4004 была еще слишком низкой, чтобы он мог в полной мере выполнять функции процессора. Однако он мог служить базовым микропроцессором для калькуляторов. Интересно отметить, что название фирмы Intel происходит от слов "Integrated Electronics" (интегральная электроника). Возможно, смысловое содержание названия Intel играет не последнюю роль в том, что фирма с момента своего создания (1968 г.) и по настоящее время (сегодня в фирме Intel работают около 65 тыс. сотрудников) занимает лидирующее положение среди мировых производителей интегральных микросхем.

В 1976 г. создан первый 8-разрядный микроконтроллер, на кристалле которого были интегрированы основные элементы микропроцессорной управляющей системы: процессор, память типа ROM и RAM, порты ввода/вывода и таймеры.

В 1978 г. появился 16-разрядный микропроцессор Intel 8086 (отечественный аналог К1810ВМ86) – первый микропроцессор массового применения. С серийного выпуска Intel 8086 началось полномасштабное проникновение персональных компьютеров во все сферы деятельности человека. Созданию микропроцессора Intel 8086 предшествовал выпуск 8-разрядных микропроцессоров Intel 8008 (1972 г.) и Intel 8080 (1974 г.).

Нельзя обойти вниманием и создание фирмой Texas Instruments в 1982 г. первого однокристалльного программируемого цифрового сигнального процессора (DSP) TMS32010. В настоящее время из-за сложности алгоритмов и специфики математических вычислений, используемых при реализации интеллектуальных приводов электрических двигателей, архитектура сигнальных процессоров используется в качестве базовой для современных универсальных программируемых DSP-контроллеров, широко применяемых в системах управления электродвигателями почти всех типов.

Структурная схема любой ЭВМ содержит следующие блоки: процессор, состоящий из арифметико-логического устройства (ALU), схем управления и регистров; память; периферийные устройства ввода/вывода данных. Здесь и далее автор придерживается аббревиатур и терминологии, принятых в документации фирм-изготовителей (в данном случае – ALU). Первоначально блоки, входящие в ЭВМ, создавались на ба-



зе стандартных дискретных логических микросхем, которые выполняли сравнительно простые функции. Поэтому сами ЭВМ имели большие габариты (например, суперЭВМ Cray-1 состояла из 300 тыс. микросхем и занимала объем порядка трех кубических метров).

Успехи интегральной технологии привели к появлению больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС) с размещением до десятков и сотен тысяч, а в настоящее время – десятков миллионов транзисторов на одном кристалле. Высокая степень интеграции БИС и СБИС позволила в одной микросхеме реализовать отдельные блоки ЭВМ, к примеру, процессор, который вследствие малых размеров по сравнению с традиционными процессорами, получил название микропроцессора. Микропроцессор – устройство, реализованное на одном кристалле (в одной микросхеме), которое обрабатывает информацию в соответствии с программой, поступающей на его входы в виде последовательности отдельных команд (инструкций). В микросхемах первых микропроцессоров (например, Intel 8080) были реализованы только сам процессор и дополнительные устройства, осуществляющие управление обменом данными с внешней памятью и устройствами ввода/вывода данных.

Однако, кроме устройств, входящих в состав процессора, на кристалле СБИС (БИС) могут быть реализованы память для хранения программ (ROM), данных или промежуточных результатов (RAM), периферийные устройства ввода/вывода данных. Такие СБИС (БИС) относятся к классу однокристальных микроЭВМ. Одной из первых серийно выпускаемых микросхем однокристальных микроЭВМ стала Intel 8048 (I8048). Однокристальные микроЭВМ начали активно использоваться там, где была потребность в несложной цифровой обработке данных: бытовых электроприборах, простых системах управления/контроля и т. п. Кроме однокристальных микроЭВМ для цифровой обработки данных в подобных системах можно использовать и заказные (специализированные) интегральные микросхемы (Application Specific Integrated Circuit – ASIC). Однако заказные микросхемы обладают существенными недостатками: затраты на их разработку и подготовку производства окупаются лишь при массовом выпуске. Кроме того, для создания каждой новой цифровой системы может потребоваться новая узкоспециализированная микросхема. Основное же преимущество системы, построенной на базе однокристальной микроЭВМ, – ее программируемость, т. е. возможность реализации разных алгоритмов взаимодействия с "внешним миром" без изменения аппаратной части системы. Следовательно система, построенная на базе однокристальной микроЭВМ, может быть универсальной. Бурное развитие средств вычислительной техники привело к тому, что цифровые системы обработки данных начали внедряться во все сферы челове-

ческой деятельности. Функциональная сложность систем постоянно возрастала, а для того, чтобы поддерживать связь с "внешним миром" (сбор данных и отображение результатов вычислений, передача данных и прием команд управления и многое другое) в случае применения однокристальных микроЭВМ, требовались дополнительные внешние устройства, реализованные на специализированных микросхемах.

Идея интеграции на одном кристалле совместно с процессором и памятью большого количества стандартных устройств различного назначения воплотилась в появление микроконтроллеров. Одним из первых серийно выпускаемых микроконтроллеров можно считать Intel 8051 (далее 8051). Вскоре микроконтроллер 8051 завоевал популярность во всем мире. В настоящее время микроконтроллеры с набором команд 8051 выпускаются десятками фирм-производителей (Analog Devices, Atmel, Dallas Semiconductor, Oki, Philips, Infineon Technologies, Silicon Storage Technologies, Temic и многими другими). В отличие от универсальных микропроцессоров, предназначенных в основном для числовой обработки данных, микроконтроллеры имеют расширенный набор встроенных периферийных устройств. Это могут быть дополнительные блоки памяти типа RAM, ROM, EPROM, EEPROM или FLASH и периферийные устройства различного назначения: универсальные таймеры и таймеры специального назначения; "сторожевые" таймеры; контроллеры внешних интерфейсов (UART, USART, SPI, SCI, I<sup>2</sup>C, j1850, USB- или CAN-шины) и жидкокристаллических дисплеев; монитор источников питания; аналоговые и цифровые компараторы; схему перезапуска; аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи и др. Таким образом, микроконтроллеры содержат все периферийные устройства, необходимые для создания законченных встроенных систем управления/контроля и (что немаловажно для дальнейшего понимания) стандартные устройства, которые в случае использования микропроцессора в системе выполнялись бы на базе дополнительных внешних по отношению к микропроцессору микросхем. В микроконтроллерах перечисленные или, по крайней мере, большая часть периферийных устройств выполнены на одном кристалле с процессором (процессорным ядром), что придает системам на базе микроконтроллеров большую гибкость и универсальность. Примером подобных высокоинтегрированных микроконтроллеров могут служить микроконвертеры ADuC812/814/816/824/834 (Analog Devices), микроконтроллеры семейств AT89/AT90 (AVR)/ATtiny/ATmega (Atmel), C16x (Infineon), H8/300 и H8/300L (Hitachi), 51XA-G49 и 51XA-G3 (Philips), MC68HC05/08/11/12/16 (Motorola), PICmicro (Microchip), MSP430F (Texas Instruments) и многие другие. Микроконвертеры, по сути, ничем не отличаются от микроконтроллеров. Фирма Analog Devices, входящая в число мировых лидеров по



выпуску аналоговых и цифровых микросхем, длительное время не уделяла должного внимания рынку микроконтроллеров. Однако в 1999 г. фирма Analog Devices начала серийный выпуск своего первого восьмиразрядного программно совместимого с 8051 микроконвертера ADuC812. Если микроконтроллер – это процессорное ядро, окруженное широким набором периферийных устройств ввода/вывода, то понятие "микроконвертер" подразумевает высокоточную систему аналогового ввода/вывода данных (24- или 16-разрядные сигма-дельта АЦП) с вычислительным ядром для предварительной обработки данных и периферийными устройствами цифрового ввода/вывода, способствующими организации гибких связей с "внешним миром". Микроконвертеры представляют собой законченную систему сбора и обработки данных, выполненную на одном кристалле. Микроконвертеры содержат: процессорное ядро на базе 8051, память типа RAM, FLASH и EEPROM, высокоточные АЦП и ЦАП, входные мультиплексоры. Кроме того, в микроконвертерах интегрированы: температурный датчик, источник эталонного напряжения, три универсальных таймера, "сторожевой" таймер, таймер реального времени, периферийные интерфейсные устройства, поддерживающие связь с "внешним миром". Основным отличием микроконвертеров от микроконтроллеров является то, что параметры встроенных аналого-цифровых преобразователей не ухудшаются во время работы процессорного ядра.

На протяжении всех этапов развития микроконтроллеры, как, впрочем, и все средства вычислительной техники, развивались по двум главным направлениям:

- совершенствования архитектуры, что позволяло при постоянном повышении сложности алгоритмов управления обеспечивать требуемую производительность
- снижения энергопотребления, что способствовало повышению уровня надежности микроконтроллеров и позволяло создавать на базе одной микросхемы функционально законченные системы и средства управления/контроля.

В настоящее время сформировалась типовая архитектура (структура) микроконтроллеров для массового применения, в которой можно выделить следующие особенности и принципы построения.

Архитектура процессорного ядра современных микроконтроллеров построена на одном из двух принципов организации вычислений. Согласно реализованному принципу все микроконтроллеры можно условно разделить на микроконтроллеры с CISC (Complex Instruction Set Computer) архитектурой процессорного ядра, выполняющего расширенный набор инструкций, и RISC (Reduced Instruction Set Computer) архитектурой процессорного ядра, выполняющего сокращенный набор инструкций [1]. К микроконтроллерам с CISC архитектурой процессорного ядра отно-

сятся: AT89 (Atmel), MCS-51/151/251 (Intel), C500 (Infineon), 89C51/52 и 8051XA (Philips), 68HC05/08/11 (Motorola). К микроконтроллерам с RISC архитектурой относятся: AT90 (AVR) фирмы Atmel, PIC16/17/18 фирмы Microchip, 16х фирмы Infineon, MSP430 фирмы Texas Instruments и другие.

Один из недостатков фон-неймановской архитектуры, на базе которой построено большинство современных микроконтроллеров, – перемещение между процессорным ядром и основной памятью многочисленных потоков информации, не имеющих непосредственного отношения к обработке данных, поскольку в устройствах с этой архитектурой данные и программа хранятся в общей памяти. Интересно отметить, что, образно говоря, рождение такого общепризнанного сегодня принципа размещения программ и данных в общей памяти произошло в результате попыток усовершенствовать "мучительный" процесс программирования первой электронно-счетной машины ENIAC, состоявшей более чем из 17 тыс. электронных ламп, тысячи переключателей и сотни кабелей. Изменение программы для ENIAC заключалось в установке в определенное положение переключателей и соединении с помощью кабелей внешних разъемов. Авторство идеи хранения команд компьютера в памяти закрепилось за математиком венгерского происхождения Джоном фон Нейманом. В отличие от фон-неймановской архитектуры, в гарвардской архитектуре предусмотрены отдельные области памяти для хранения данных и программ и соответствующее количество встроенных шин для доступа к этим областям памяти, что позволяет одновременно выбирать инструкцию и несколько операндов. На базе гарвардской архитектуры построены все DSP-контроллеры, кроме того, архитектура некоторых микроконтроллеров напоминает гарвардскую. Например, AT90 (AVR) фирмы Atmel.

В настоящее время мировое производство электроэнергии превышает 0.1 % энергии, получаемой нашей планетой от Солнца, а к концу XXI столетия может увеличиться до 0.4-0.5 % [2]. По разным оценкам потребление примерно 50-70 % всей вырабатываемой электроэнергии приходится на долю электродвигателей. Поэтому крайне остро стоит проблема реализации оптимальных алгоритмов управления электродвигателями не только с целью улучшения их эксплуатационных характеристик, а и экономии электроэнергии. Существовавшие до недавнего времени системы управления электродвигателями на дискретных компонентах, а также на базе специализированных микроконтроллеров, в которых интегрированы периферийные устройства для управления электродвигателями, не обладают достаточной производительностью и поэтому не в состоянии реализовывать сложные алгоритмы управления (например, векторное управление). Высокопроизводительные универсальные микропроцессоры не имеют встроенных периферийных устройств

(АЦП, ШИМ-генераторов), позволяющих эффективно управлять электродвигателями, и, следовательно, не подходят для массового рынка бытовой техники и реализации недорогих систем управления электродвигателями. Архитектура же цифровых сигнальных процессоров адаптирована для высокоскоростной обработки сигналов в реальном времени и в полной мере отвечает требованиям обеспечения реализации сложных алгоритмов управления. Поэтому, следуя потребностям рынка, ведущие производители сигнальных процессоров разработали новый класс микроконтроллеров на базе высокоэффективных сигнальных процессоров, получивших название DSP-контроллеры. Фирма Analog Devices выпускает DSP-контроллеры ADMC300/301/401, ADMC326/327/328 и ADM-CF326/327/328/340/341, предназначенные для построения эффективных малогабаритных систем управления электродвигателями; фирма Motorola – DSP56F801/802/803/805/807/826/827; фирма Texas Instruments – семейство TMS320F24x (TMS320F240/241/243/2402/2404/2406/2407), а также новые TMS320F2810 и TMS320F2812, которые отличаются повышенной производительностью (150 MIPS при тактовой частоте 150 МГц). TMS320F2810/12 реализованы на базе модифицированной гарвардской архитектуры. Структурная схема процессорного ядра TMS320F2810/12 приведена на рис. 1. В TMS320F2810/12 реализованы 32-разрядные шины данных, 64-разрядное устройство циклического сдвига, восьмиступенчатый конвейер, новые инструкции чтения/модификации/записи, что обеспечивает в 12 раз большую производительность по сравнению с существующими DSP-контроллерами ведущих мировых производителей. Кроме того, в средствах отладки TMS320F2810/12 реализована возможность эмуляции в реальном времени, что открывает новые уникальные возможности отладки систем регулирования. В ближайшем будущем фирма Texas Instruments планирует увеличить производительность DSP-контроллеров на базе процессорного ядра с новой архи-

тектурой до 400 MIPS. В начале 2002 г. фирма Analog Devices анонсировала новый ADSP-21990 (16-разрядный с фиксированной точкой) производительностью 160 MIPS, предназначенный для систем управления электродвигателями, сбора данных, робототехнических и других систем. В ADSP-21990 реализован восьмиканальный 14-разрядный АЦП с максимальной частотой преобразования 20 МГц.

Большинство современных микроконтроллеров, в особенности 8-разрядных, реализовано на базе закрытой архитектуры, которая отличается отсутствием шин для обращения к внешней памяти программ и данных. Примером могут служить микроконтроллеры серии 68HC08 (Motorola) и MSP430 (Texas Instruments).

В современных микроконтроллерах для массового применения обозначились основные периферийные устройства. Это, в первую очередь, многофункциональные таймеры и процессоры событий, позволяющие создавать законченную систему управления в реальном времени, а также многоканальные высокоточные АЦП, которые служат базой для построения систем сбора и обработки данных на основе современных микроконтроллеров. Среди существующих микроконтроллеров необходимо выделить микроконтроллеры ADuC824/834 фирмы Analog Devices, в которых интегрированы 16- и 24-разрядные сигма-дельта АЦП. К основным периферийным устройствам, в которых реализуется обмен данными с "внешним миром", относятся контроллеры последовательных интерфейсов типа SPI, UART, I<sup>2</sup>C, CAN, USB, i1850. И хотя алгоритмы работы одноименных периферийных устройств в микроконтроллерах разных производителей несколько отличаются, в принципе все они выполняют одинаковые функции. Кроме того, постоянно совершенствуются режимы работы периферийных устройств и меняется их количество.

Большинство современных микроконтроллеров отличается модульной организацией, что дает возможность на базе одного процессорного ядра создавать большое количество модификаций в пределах одного семейства микроконтроллеров. Модификации отличаются объемом и типом интегрированной памяти, набором периферийных устройств, тактовой частотой, диапазоном рабочих температур, размерами корпуса и т. п. Модульный принцип построения позволяет производителям микроконтроллеров ускорить проектирование и выпуск новых модификаций, а пользователям – сократить время на освоение новых микроконтроллеров и снизить затраты на их внедрение.

Современные микроконтроллеры для массового применения должны обеспечить простоту использования, гибкие функциональные возможности и удобств-

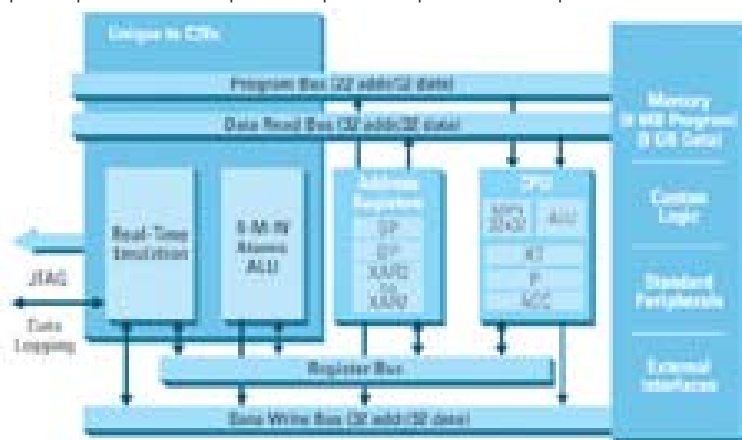


Рис. 1. Структурная схема процессорного ядра TMS320F2810/12

во программирования и отладки. В связи с этим среди наиболее важных направлений развития микроконтроллеров необходимо выделить следующие:

- снижение энергопотребления, что позволяет уменьшить размеры корпуса и габариты встроенных источников питания
- совершенствование параметров периферийных устройств, что дает возможность сократить количество внешних по отношению к микроконтроллеру компонентов и тем самым уменьшить габариты и энергопотребление системы
- совершенствование структуры микроконтроллеров, что обеспечивает пользователю возможность отыскать оптимальный микроконтроллер для каждой конкретной задачи
- уменьшение напряжения питания (расширение диапазона напряжений питания), что позволяет работать от автономных источников питания (батарей)
- интеграцию памяти типа флэш, которая является предпочтительной для мелкосерийного производителя систем управления/контроля (поэтому все ведущие производители – Analog Devices, Atmel, Microchip, Motorola, Texas Instruments и др. – освоили выпуск модификаций микроконтроллеров со встроенной флэш-памятью вместо памяти с ультрафиолетовым стиранием)
- внедрение новых технологий программирования и перепрограммирования микроконтроллеров: переход к технологии программирования микроконтроллеров непосредственно в устройстве позволяет исключить многие проблемы, существовавшие при отладке изделий, в которых использовалась масочная ROM-память.

Таким образом, микроконтроллер – это миниатюрное (реализованное в одной интегральной микросхеме) недорогое многофункциональное программируемое устройство, предназначенное для обработки информации. Микроконтроллеры отличаются от микропроцессоров в первую очередь большим набором периферийных устройств. Несмотря на универсальность микроконтроллеров (что достигается за счет широкого набора стандартных периферийных устройств и процессорного ядра, которое в состоянии выполнять обработку данных по любому алгоритму, определенному программой), недостаток недорогих серийных микроконтроллеров заключается в том, что все периферийные устройства имеют жесткую структуру. При необходимости подключения к микроконтроллеру нестандартных или стандартных устройств, с которыми микроконтроллер не может поддерживать обмен данными, возникает необходимость в дополнительном аппаратном контроллере, который служит мостом между мик-

роконтроллером и внешними устройствами. Дополнительный контроллер обычно реализуется на стандартных логических микросхемах, программируемой логике или других компонентах (например, ASIC), что приводит к увеличению стоимости, энергопотребления и габаритов системы. Таким образом, основной недостаток встроенных периферийных устройств микроконтроллеров – их жесткая структура, которая не позволяет изменять конфигурацию этих устройств, а следовательно, и адаптировать микроконтроллер к разным сферам применения.

В результате дальнейшего развития тенденции интеграции различных устройств на одном кристалле появилось понятие "система на кристалле" (System on a Chip – SoC), смысл которого заключается в объединении в одной микросхеме вместе с процессором и памятью как можно большего числа периферийных устройств, что, в свою очередь, приводит к расширению возможностей и появлению новых функций. Пользователь всегда отдает предпочтение быстродействующим, надежным и то же время малогабаритным и экономичным устройствам низкой стоимости, что, в конечном счете, достигается путем повышения степени (уровня) интеграции кристалла [3-9]. Интеграция всех основных системных устройств в одной микросхеме гарантирует повышение производительности, снижение энергопотребления, сокращение стоимости законченного изделия (системы), и, кроме того, дает возможность создавать малогабаритную и миниатюрную продукцию. Все эти преимущества крайне важны во всех сферах применения: средствах телекоммуникаций, измерительных и медицинских приборах, портативной аппаратуре и т. д. Длительное время главным препятст-

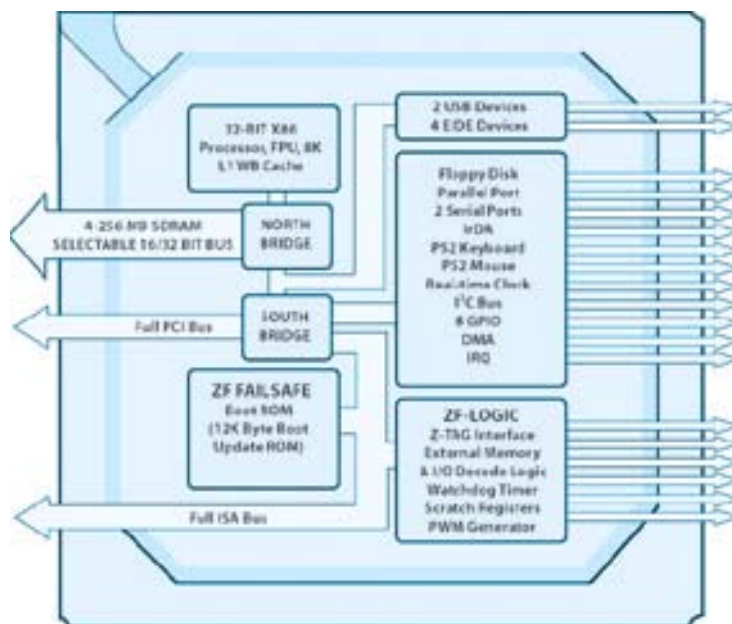


Рис. 2. Структурная схема однокристалльного компьютера ZF86

вием на пути внедрения микросхем типа SoC в массовое производство были технологические трудности. Однако, как только был преодолен барьер топологических размеров транзистора в 0.35 мкм и после того, как при производстве микросхем были освоены технологии, которые позволяли изготавливать на одном кристалле память, процессорное ядро, мощные высоковольтные транзисторы и высокочастотные аналоговые схемы, многие производители реализовали свои наработки в конкретных серийно выпускаемых микросхемах типа SoC. В результате на рынке микроэлектроники появилось новое поколение микросхем, которое, возможно, ожидает большое будущее.

Примером систем типа SoC могут служить системы на кристалле ZFх86, ZFх86-Lite, ZFх86-TV, ZFх86-LCD фирмы ZF Micro Devices, созданные на базе микропроцессора с архитектурой х86 [5]. Структурная схема наиболее интегрированной микросхемы ZFх86, которая буквально "нашпигована" интерфейсными устройствами, приведена на рис. 2.

Цель разработки ZFх86 – создание недорогого полностью совместимого с существующими семействами х86 однокристального компьютера. ZFх86 содержит микропроцессор 586 FP DX фирмы CYRIX и кэш-память объемом 8 кбайт. Микропроцессор выполняет обработку 8-, 16- и 32-разрядных данных. Адресное пространство ZFх86 составляет 256 Мбайт. На кристалле ZFх86 интегрирован широкий набор периферийных интерфейсных контроллеров: IDE, USB, PCI, ISA, SMB, I<sup>2</sup>C; параллельные порты, реализующие протоколы EPP, ECC, IEEE 1284; два последовательных 16550А и 16450 совместимых порта с максимальной скоростью обмена данными 1.5 Мбит/с. Кроме того, на кристалле ZFх86 реализованы устройства, имеющиеся в АТ-совместимых компьютерах: контроллер прерываний (8259А), таймер (8254), контроллер прямого доступа к памяти (8237). В ZFх86 еще имеются "сторожевой" таймер и ШИМ генератор, позволяющий реализовывать управление уровнем постоянного напряжения, что необходимо для ЖК дисплеев с подсветкой. Потребляемая ZFх86 при тактовой частоте 100 МГц мощность – 0.5 Вт [5]. Однокристальные компьютеры ZFх86 планируется выпускать для работы в диа-

пазоне температур от 0 до 70 °С (при максимальной тактовой частоте не более 133 МГц) и от -40 до 85 °С (при тактовой частоте не более 100 МГц). Беспрецедентный набор встроенных периферийных устройств в системах на кристалле серии ZFх86 ярко иллюстрируют данные, приведенные в табл. 1.

Хотя программируемые системы памяти (Programmable System Memories – PSM) не относятся к микросхемам класса SoC (основным признаком которых является наличие процессорного ядра), нельзя не упомянуть о микросхемах типа PSM. Тем более, что на практике, благодаря своим параметрам, они могут найти широкое применение. В выпуске программируемых систем памяти преуспела фирма STMicroelectronics, предлагающая новые изделия Flash PSD (Programmable System Devices). В табл. 2 приведены основные параметры некоторых микросхем Flash PSD [6].

Flash PSD – конфигурируемая система памяти на одном кристалле, которая содержит: два блока флэш-памяти (основной и дополнительный), память типа SRAM, два блока программируемой логики PLD (DPLD и GPLD), конфигурируемые порты ввода/вывода, блок

Таблица 1. Сравнительные характеристики систем на кристалле ZFх86

Наименование параметра	ZFх86-Lite	ZFх86	ZFх86-TV	ZFх86-LCD	
Тип процессорного ядра	x86				
Разрядность шины, бит	64	16/32	64		
Технология, мкм	0.25				
Частота ядра, МГц	25-133	33-66- -100-128	25-133	50-133	
Максимальная мощность потребления, Вт	1.5	1.7	2.5		
Частота обмена данными с динамической памятью, МГц	25-100	33-66	25-100	50-100	
Контроллеры	PCI (33 МГц)	•	•	•	•
	ISA	•	•	•	•
	EIDE	4	4	4	4
	дисковода	-	•	-	-
	клавиатуры	-	•	-	•
	"мыши"	-	•	-	•
	USB	-	2	-	2
I <sup>2</sup> C	•	•	-	•	
Часы реального времени	-	•	-	-	
Линии ввода/вывода общего назначения (GPIO)	16	8	-	16	
Вход видеосигнала	-	-	•	•	
TV-выход	-	-	•	-	
2D ускоритель	-	-	•	•	
Последовательный порт	-	2	-	2	
Параллельный порт	-	1	1	1	
ШИМ-генератор	1	1	-	2	
Число выводов и тип корпуса	388-BGA			516-BGA	





управления энергопотреблением PMU (Power Management Unit). Структурная схема микросхем Flash PSD приведена на рис. 3. С помощью блока DPLD можно реализовать любой внешний интерфейс, что обеспе-

чивает возможность подключения к микроконтроллерам разного типа. Блок GPLD может использоваться для организации дополнительных внешних портов ввода/вывода микроконтроллера и реализации неслож-

ных логических функций. Объем памяти основного блока флэш-памяти может быть до 1024 кбайт (восемь сегментов). Объем памяти дополнительного блока – до 64 кбайт (четыре сегмента). Сохранение данных в статической RAM-памяти может обеспечиваться и при отключении основного источника питания, для этого в микросхемах Flash PSD имеются специальные выводы для подключения внешних элементов питания. Каждый из блоков памяти может размещаться в любом месте адресного пространства микроконтроллера. Минимальное количество циклов стирания/записи флэш-памяти составляет 100 тыс., блоков PLD – 1 тыс.

Таблица 2. Основные параметры микросхем Flash PSD

Тип PSD	Встроенная память, Кбайт			Число линий портов ввода/вывода	Число входов PLD	Число выходов PLD	Напряжение питания, В
	флэш (блок 1)	флэш (блок 2)	RAM				
813F2	128	32	2	27	24	16	3.3
813F4			8				
833F2			8				
834F2	256	32	8	52	81	24	5
853F2	128		32				
854F2	256		32				
835G2	512	8	8	27	57	19	3.3/5
913G2	128		2				
934F2	256		8				
935G2	512	8	8	52	66	24	5
4135G2							
4156G6	1024	64	32	52	82	24	3
4256G6					82		
4256G6V					82		

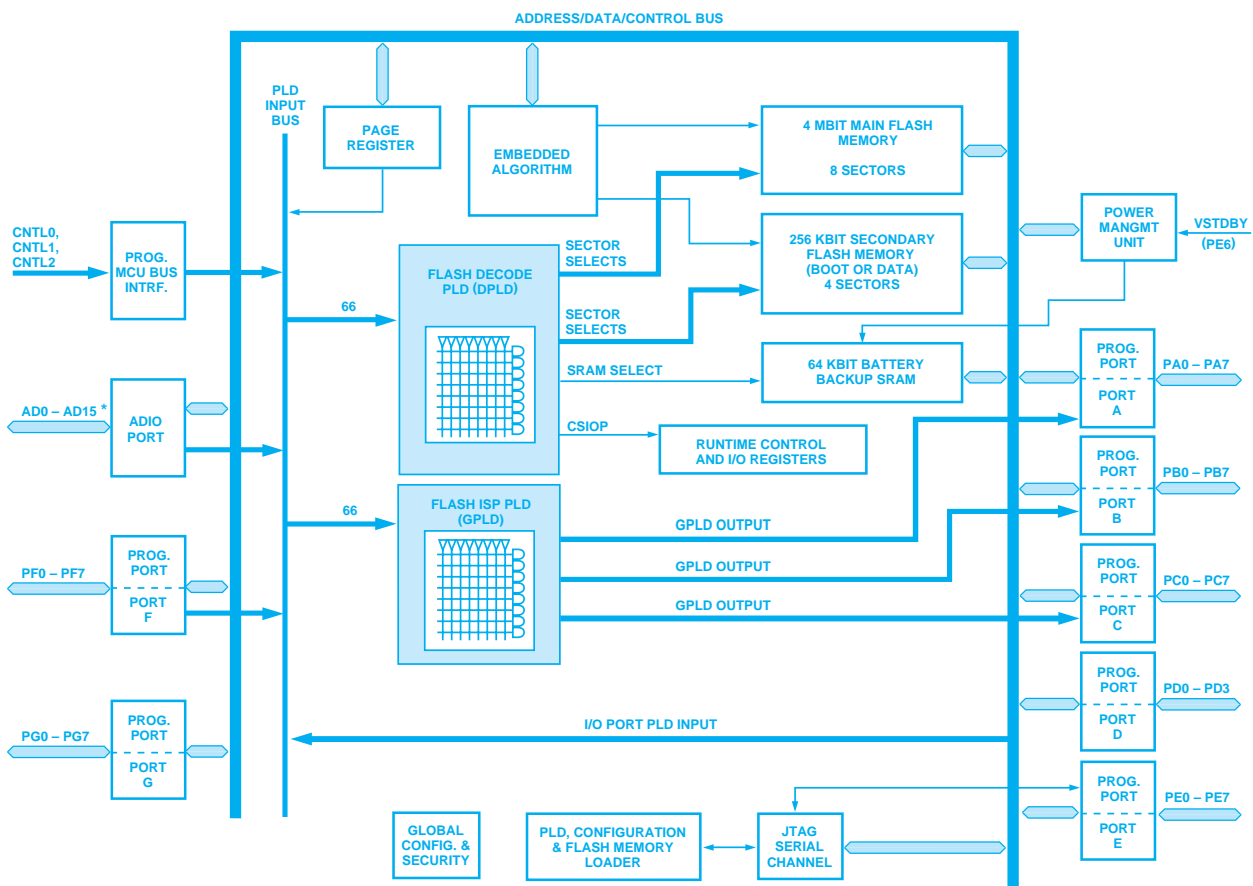


Рис. 3. Структурная схема Flash PSD



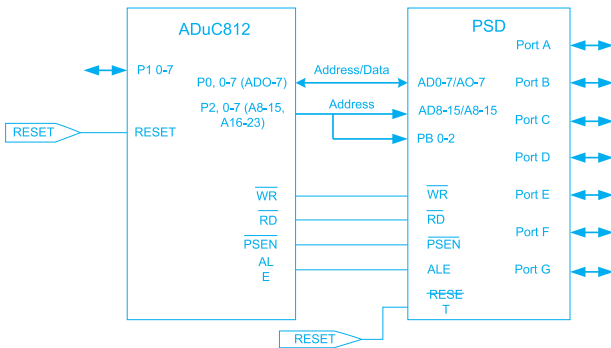


Рис. 4. Схема соединения ADuC812 и Flash PSD

Встроенный в микросхемы Flash PSD JTAG-порт позволяет реализовывать внутрисистемное программирование (In-System Programmable – ISP), что дает возможность программировать Flash PSD в любое время после установки их на печатную плату. Два независимых блока флэш-памяти, блок SRAM и уникальная архитектура Flash PSD обеспечивают возможность в ходе выполнения программы, хранящейся в одном из блоков (флэш или SRAM), осуществлять программирование/перепрограммирование другого блока флэш-памяти через один из интерфейсов: CAN, Ethernet, UART, i1850. Возможность перепрограммировать микросхемы Flash PSD, не останавливая работу системы (In-Application re-Programmable – IAP), позволяет применять выпускаемые уже на протяжении многих лет популярные микроконтроллеры без встроенной флэш-памяти, что, в свою очередь, продлевает "время жизни" этих микроконтроллеров на рынке. В табл. 3 приведены основные варианты программирования Flash PSD. В настоящее время фирма STMicroelectronics выпускает два семейства микросхем Flash PSD для применения с 8-разрядными микроконтроллерами – PSD8xx и PSD9xx, которые можно подключать к любым типам микроконтроллеров, в том числе и к 8031, 80196, 80188 и 80C251 (Intel); 68HC11/16 и другим (Motorola); 8031 и 80C51XA (Philips); C500 (Infineon); Z80, Z8 и Z180 (Zilog). На рис. 4 приведена схема соединения микроконвертера ADuC812 и микросхемы Flash PSD [6]. Семейство PSD4000 предназначено для работы с 16-разрядными микроконтроллерами и сигнальными процессорами. Программирование PSD9xx и PSD4000 выполняется на базе системы PSDsoft Express. Бесплатную копию программ для PSDsoft Express можно загрузить с сайта фирмы STMicroelectron-

Таблица 3. Варианты программирования блоков Flash PSD

Название блока	JTAG-ISP	IAP
Основной блок флэш-памяти	•	•
Дополнительный блок флэш-памяти	•	•
DPLD и GPLD	•	–
PSD (конфигурация)	•	–

ics (www.psdst.com). Кроме Flash PSD существуют и системы памяти с перестраиваемой конфигурацией на одном кристалле, в которых используется память типа OTP. Подводя итоги, можно отметить, что применение микросхем Flash PSD памяти для встроенных систем позволяет не только сократить количество внешних компонентов, но и расширить их функциональные возможности.

Создание систем типа SoC на базе микроконтроллера или микропроцессора с очень широким набором встроенных периферийных устройств, реализованных на жесткой логике, часть из которых никогда не будет востребована в системе, очевидно, в большинстве случаев нецелесообразно вследствие непомерного увеличения стоимости подобных микросхем и системы в целом. Кроме того, проблема усугубляется еще и тем, что изделия микроэлектроники очень быстро стареют морально. Поэтому производители уделяют большое внимание сокращению сроков проектирования и выхода новых изделий на рынок.

Существует несколько подходов к построению микросхем типа SoC. Один из них – создание заказных микросхем (ASIC) с заданными характеристиками и архитектурой. Такой путь сопряжен с большими финансовыми затратами на разработку. Другой подход заключается в использовании для реализации периферийных устройств компонентов на базе программируемых логических интегральных схем.

В 1977 г. появились первые программируемые логические устройства (Programmable Logic Devices – PLD), внутренняя структура которых может быть изменена пользователем. В 1988 г. фирма Xilinx выпустила программируемую пользователем матрицу логических вентилях (Logic Cell Arrays – LCA), основные принципы организации которой послужили базой при создании современных программируемых логических интегральных схем (Field Programming Gate Array – FPGA). Через некоторое время выпуск микросхем FPGA освоили фирмы Altera, Atmel и другие. В настоящее время выпускаются микросхемы FPGA, которые содержат несколько миллионов логических элементов на кристалле. Уникальные возможности микросхем с программируемой логикой открывают новые перспективы для реализации систем типа SoC. В последние годы, благодаря усилиям ряда фирм (Atmel, Altera, Xilinx), которые воплотились в серийно выпускаемые микросхемы FPGA, появилась возможность создания систем принципиально новых типов. Это конфигурируемые системы на кристалле (Configurable System on Chip – CSoC) и системы на программируемом кристалле (System on Programmable Chip – SoPC). В новых системах можно оптимизировать не только потребляемую мощность, габариты, электромагнитную совместимость, но даже время распространения сигналов внутри микросхемы. Системы классов CSoC и SoPC, реализованные на базе FPGA, могут объединять на одном кри-

талле блоки, характерные для микроконтроллерных систем: процессорное ядро, память, периферийные устройства. Причем, процессорное ядро и периферийные устройства могут быть как "жесткими" так и конфигурируемыми (реконфигурируемыми) пользователем. Существует два подхода к созданию систем типа CSoC и SoPC. При первом система на кристалле рассматривается как привычная микроконтроллерная система, в которой основным звеном служит процессорное ядро, а периферийные устройства могут быть конфигурированы пользователем. Второй подход заключается в том, что весь набор встроенных блоков системы на кристалле можно рассматривать как набор независимых блоков, интерфейс между которыми не является фиксированным и может быть выбран под конкретную задачу.

Фирма Atmel, выпускающая микроконтроллеры семейства AT90 и микросхемы программируемой логики FPGA, на базе интеграции в одном кристалле 8-разрядного процессорного ядра стандартного AVR-микроконтроллера (AT90), быстрой памяти типа SRAM и программируемой логики создала конфигурируемую систему на кристалле. Новые микросхемы получили название FPSLIC (Field Programmable System Level Integration Circuits) – интегральных микросхем, программируемых на системном уровне. Программируемая логика этих микросхем предоставляет пользователю возможность самостоятельно определять специализацию микросхемы для конкретной задачи. Так как конфигурация FPGA хранится в статической памяти, то под управлением процессорного ядра микроконтроллера все устройства, реализованные на программируемой логике, можно реконфигурировать даже в процессе работы. Таким образом, в системах типа CSoC появилась возможность динамически реконфигурировать микроконтроллерную систему, что является неоценимым преимуществом систем на базе FPSLIC. В настоящее время семейство микросхем FPSLIC представлено тремя микросхемами: AT94K40, AT94K20, AT94K10.

Создание микросхем типа SoPC привело к появлению систем, построенных на базе микросхем программируемой логики. Система SoPC, реализованная на базе микросхем FPGA типа APEX20K фирмы Altera, объединяет в одном кристалле процессорное ядро и периферийные устройства. Причем, в отличие от стандартных серийно выпускаемых микроконтроллеров с жесткой архитектурой, устрой-

ства типа SoPC могут при помощи специальных программных средств перестраиваться как на аппаратном, так и на программном уровне. Таким образом можно создавать системы с любой архитектурой. Разработчику же предоставляются широкие возможности не только для создания программного обеспечения, но и для модификации аппаратных блоков и узлов системы, и, что особенно важно, в том числе процессорного ядра. Для разработки систем на кристалле фирма Altera предлагает систему проектирования Excalibur, в которую входит программное обеспечение для встраиваемого процессорного ядра Nios (структурная схема приведена на рис. 5). Благодаря аппаратной и программной гибкости систем типа SoPC, они могут использоваться в качестве базового ядра во встраиваемых системах разного назначения (компьютерной периферии, системах промышленной автоматики, устройствах обработки сигналов, оборудовании для средств связи и многом другом) [7, 8]. Процессорным ядром системы служит RISC-процессор Nios – первый 32 (16)-разрядный процессор, созданный на базе микросхем программируемой логики APEX. Кроме процессора Nios с помощью системы проектирования Excalibur фирмы Altera можно создавать и различные периферийные модули, подключаемые к шине PCI, а также модуль быстрого преобразования Фурье, модуль

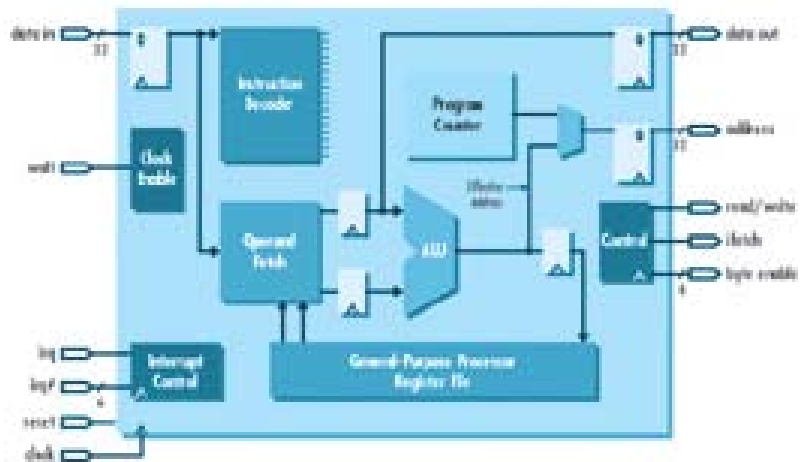


Рис. 5. Структурная схема процессорного ядра Nios

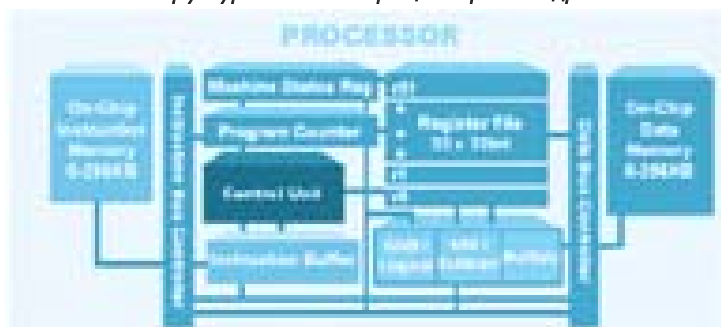


Рис. 6. Структурная схема процессорного ядра MicroBlaze

UART и др. [7, 8]. Основные параметры процессорного ядра Nios: формат данных 32 (16) бита, максимальная тактовая частота 50 МГц, разрядность ALU 32 (16) бита, разрядность инструкций 16 бит, разрядность регистров 32 (16) бита, разрядность шины адреса 33 (17) бита, максимальное количество внутренних регистров 512, число используемых вентилях в кристалле 1700 (1100). Процессорное ядро имеет конвейерную структуру и выполняет одну инструкцию в течение одного такта. Система команд содержит набор инструкций, выполняющих стандартные арифметические и логические операции, в инструкциях реализованы также побайтовые и побитовые операции. Процессорное ядро выполняет обработку до 64 запросов на прерывание и может поддерживать обмен данными с внешней памятью. Кроме того, процессорное ядро поддерживает работу с широким набором периферийных устройств (таймерами/счетчиками, последовательным портом, портами ввода/вывода общего назначения, контроллером памяти типа SDRAM, контроллерами IDE и 10/100 Ethernet).

Фирма Xilinx, входящая в число ведущих мировых производителей микросхем программируемой логики, также разработала программное 32-разрядное процессорное ядро MicroBlaze на базе микросхем серии Virtex с максимальной тактовой частотой 125 МГц. Производительность первых образцов MicroBlaze (2001 г.) составляет 50 MIPS, однако в течение 2002 г. предполагается увеличить производительность до 100 MIPS. Структурная схема процессорного ядра MicroBlaze приведена на рис. 6 [9]. В основе архитектуры, реализованной в процессорном ядре MicroBlaze, лежит гарвардская архитектура с 32-разрядными шинами адреса и данных с использованием распределенной памяти. Для реализации процессорного ядра MicroBlaze требуются минимальные ресурсы кристалла Virtex, поэтому на одном кристалле может быть размещено от 10 до 30 процессорных ядер MicroBlaze, а в наиболее мощных кристаллах Virtex – до 100 процессорных ядер. Процессорное ядро MicroBlaze предполагается использовать в качестве базового элемента в сопроцессорных модулях на шине Power PC, а также в других приложениях.

Кроме терминов CSoC и SoPC для изделий класса SoC используется еще и термин PSoC (Programmable System on a Chip – программируемая система на кристалле). Зачастую разные производители микросхем одного класса используют разные термины.

Как следует из приведенных выше примеров изделий разных производителей, необходимо различать устройства с конфигурируемой системой на кристалле и с конфигурируемым процессором. Первые реализуют системы, объединяющие встроенный процессор, память, программируемую логику и другие ресурсы. Все блоки внутри системы объединяются с помощью оптимизированного интерфейса. Отличительная осо-

бенность таких систем заключается в том, что в качестве процессора обычно используется популярный серийно выпускаемый процессор (например, AVR-микросхем контроллер AT94Kxx фирмы Atmel), для которого существуют развитые инструментальные средства разработки. Кроме того, этот процессор не размещается в массиве программируемой логики.

В устройствах с конфигурируемым процессором появляется возможность изменять набор команд процессорного ядра, добавлять новые аппаратные блоки (например, умножитель), т. е. оптимизировать его структуру для выполнения конкретной задачи. Чтобы реализовать новую конфигурацию процессора, требуются специальные средства разработки.

С каждым днем увеличивается количество микроконтроллеров с "жесткой" архитектурой, из которых в самые сжатые сроки можно построить функционально законченное изделие. Тем не менее, остается проблема создания малогабаритных, универсальных, экономичных и недорогих микроконтроллеров, которые (о чем всегда мечтают разработчики систем) были бы еще и реконфигурируемыми. Нельзя переоценить возможность использования одного и того же кристалла SoC в разных приложениях, что позволило бы полностью заменить им одно из семейств серийно выпускаемых микроконтроллеров.

В настоящее время, на начальном этапе внедрения микросхем класса SoC, когда еще нет четкой концепции системы на кристалле, установившейся терминологии и точного определения понятия "система на кристалле" [3, 4], обозначить пути развития микросхем типа SoC представляется преждевременным. Однако через несколько лет в результате естественного развития станет ясно, получат ли признание микросхемы типа SoC, какая идеология построения таких микросхем "выстоит" и по какому направлению будут развиваться микросхемы этого класса.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Морисита И. Аппаратные средства микроЭВМ: Пер. с япон. – М.: Мир, 1988.
2. Перспективы развития электромеханики в XXI веке//Электронпанорама, № 1, 2001.
3. Система на кристалле//Электронные компоненты, № 2, 2001.
4. Система на кристалле: общее представление и тенденции развития//Компоненты и технологии, № 6, 2001.
5. <http://www.zfmicro.com>
6. <http://www.psdst.com>
7. Система Excalibur – средство разработки SoC-решений фирмы ALTERA//CHIP NEWS, № 6, 2001.
8. <http://www.altera.com>
9. <http://www.xilinx.com>

## 16-РАЗРЯДНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ MSP430F

Фирма Texas Instruments продолжает пополнять семейство MSP430F экономичных 16-разрядных микроконтроллеров со встроенной флэш-памятью. С начала года фирма освоила выпуск новых микросхем MSP430F4xx, MSP430F11x2 и MSP430F12x2. В статье приведены сведения об архитектуре, параметрах и возможностях микроконтроллеров семейства MSP430F.

### В. Охрименко

MSP430F – сверхэкономичные 16-разрядные микроконтроллеры со встроенной флэш-памятью, предназначенные для применения во встраиваемых системах с питанием от батарей: счетчиках расхода электроэнергии и воды, встраиваемых системах безопасности, портативных измерительных приборах, интеллектуальных датчиках, медицинских и других приборах, в которых требуется обеспечить высокую точность вычислений и длительный срок службы элементов питания.

Микроконтроллеры MSP430F обладают всеми достоинствами, присущими выпущенным ранее микроконтроллерам семейства MSP430 [1-6]. С появлением понятия "система на кристалле" (System on a Chip – SoC) микроконтроллеры MSP430F1122/1132/1222/1232, анонсированные в феврале 2002 г., фирма Texas Instruments причислила к SoC-подобным изделиям [5], хотя по степени интеграции периферийных устройств они и уступают, к примеру, микроконтроллерам 68HC908 компании Motorola, которые имеют более широкий набор встроенных устройств для связи с "внешним миром" (CAN, i1850, USB и другие).

Все микроконтроллеры MSP430F реализованы на базе модульной архитектуры, что дает возможность сравнительно просто модифицировать их путем добавления новых периферийных устройств и улучшения параметров уже существующих. Процессорное ядро, память и периферийные устройства объединены шинами данных MDB и адреса MAD.

Микроконтроллеры семейства MSP430F различаются между собой объемом встроенной флэш-памяти (от 1 кбайт в MSP430F1101 до 60 кбайт в MSP430F149/449) и RAM-памяти (от 128 байт в MSP430F1101/1111 до 2 кбайт в MSP430F148/149/448/449), а также набором периферийных устройств. В таблице приведены основные параметры микроконтроллеров MSP430F [1]. Как и во всех микроконтроллерах с закрытой архитектурой, в MSP430F не реализованы шины для обмена данными с внешней памятью. Все микроконтроллеры MSP430F реализованы на базе 16-разрядного процессорного ядра с RISC архитектурой, работают при напряжении питания от 1.8 до 3.6 В, имеют 16-разрядный "сторо-

жевой" таймер и предназначены для работы в диапазоне температур от -40 до 85 °С. В некоторых микроконтроллерах семейства MSP430F имеется встроенный аппаратный умножитель (см. таблицу).

Максимальная производительность всех приведенных в таблице микроконтроллеров составляет 8 MIPS (при напряжении питания 3.6 В и тактовой частоте процессорного ядра 8 МГц). На рис. 1 приведен график зависимости тактовой частоты процессорного ядра от напряжения питания [3, 4]. Микроконтроллеры MSP430F435/436/437/447/448/449 серийно выпускаются с первого квартала 2002 года. Микроконтроллеры MSP430F11x2/12x2 планируется освоить в серийном производстве во втором квартале 2002 г. [5]. В MSP430F11x2/12x2 реализован контроллер DTC (Direct Transfer Controller), выполняющий пересылку данных из АЦП во встроенную память, что

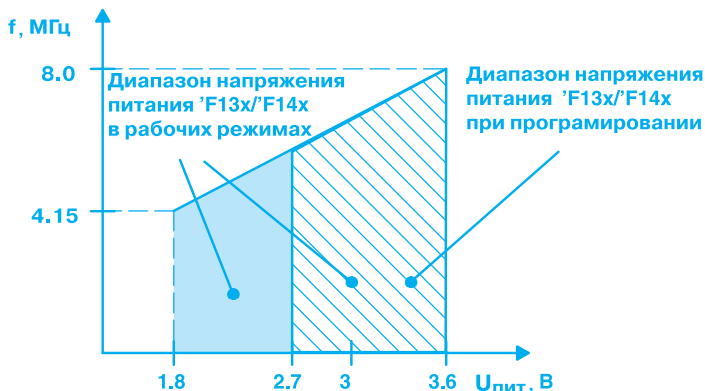


Рис. 1. График зависимости тактовой частоты MSP430F13x/14x от напряжения питания

позволяет при цифровой обработке сигналов увеличить производительность новых микроконтроллеров по сравнению с существующими примерно в 50 раз [5]. В новых MSP430F11x2/12x2 реализован 10-разрядный восьмиканальный АЦП с максимальной частотой преобразования 200 кГц.

Нельзя обойти вниманием и микросхему радиочастотного приемопередатчика TRF6900A фирмы Texas Instruments, которая, хотя и не входит в состав семейства микроконтроллеров MSP430F, предназначена для непосредственного подключения к ним [6]. Микросхема TRF6900A применяется в распределенных системах сбора данных для организации радиосвязи в диапазоне частот от 850 до 950 МГц в пределах ограниченной территории. Режим работы приемопередатчиков полудуплексный, применяемая модуляция – частотная.

Архитектура микроконтроллеров семейства MSP430F включает: 16-разрядное центральное процессорное устройство (CPU); память хранения про-

## Основные параметры микроконтроллеров MSP430F

Тип MSP430F	Память, байт		Умножитель	16-разрядные таймеры		Аналог. компаратор	АЦП	USART	Контроллер ЖКИ, сегменты	Кол-во выводов и тип корпуса	Стоимость, \$, в партии 10 000 шт.																																			
	флэш	RAM		A	B																																									
1101	1 К	128	нет	нет	нет	нет	интегрирующий	программный	нет	20, DW, PW	0.99																																			
1111	2 К										1.34																																			
1121	4 К	256								нет	нет	нет	нет	интегрирующий	нет	20, DW, PW, DGV	1.74																													
1122																	2.24																													
1132	8 К	256														нет	нет	нет	нет	интегрирующий	нет	20, DW, PW	2.48																							
1222	4 К																						2.62																							
1232	8 К	256																				нет	нет	нет	нет	интегрирующий	нет	28, DW, PW	2.79																	
122	4 К																												2.39																	
123	8 К	256																										нет	нет	нет	нет	интегрирующий	нет	28, DW, PW	2.51											
133																																			2.96											
135	16 К	512																																нет	нет	нет	нет	интегрирующий	нет	64, PM	3.58					
147	32 К	1 К																																							4.95					
148	48 К	2 К	нет	нет	нет	нет	интегрирующий	нет	64, PM, PAG																															5.65						
149	60 К																																							5.95						
412	4 К	256							нет	нет	нет	нет	интегрирующий	программный	96																									2.56						
413	8 К																																							2.90						
435	16 К	512													нет	нет	нет	нет	интегрирующий	программный	96																			4.40						
436	24 К	1 К																																						нет	нет	нет	нет	интегрирующий	программный	96
437	32 К																				1 К	нет	нет	нет	нет	интегрирующий	программный																			
447		5.65																																												
448	48 К	2 К																			нет							нет	нет	нет	интегрирующий	программный	160													6.40
449	60 К																																													2 К

грамм типа флэш и хранения данных – RAM; JTAG-порт; системные модули; широкий набор периферийных устройств. Микроконтроллеры MSP430F отличаются между собой объемом встроенной памяти, набором периферийных устройств и типом корпуса (см. таблицу).

В состав микроконтроллеров семейства MSP430F входят системные модули, с помощью которых осуществляется управление режимами работы, и периферийные устройства, выполняющие управление обменом данными с внешними устройствами.

**Системные модули:**

- базовый модуль формирования тактовых сигналов (Base Clock Module – BCM), в составе которого имеются два генератора и формирователь тактовых сигналов
- JTAG-порт
- "сторожевой" таймер (Watchdog Timer)
- модуль перезапуска (Power on Reset – POR).

**Периферийные устройства:**

- таймер А (Timer A)
- таймер В (Timer B)
- АЦП (ADC)

- компаратор (Comparator A)
- USART-порт
- порты ввода/вывода (I/O Port)
- контроллер ЖКИ (LCD).

Структурная схема наиболее интегрированных микроконтроллеров MSP430F14x приведена на рис. 2.

**Режимы работы.** Микроконтроллеры MSP430F предназначены для использования в портативных устройствах, работающих от встроенных элементов питания. Поэтому при разработке микроконтроллеров MSP430F особое внимание было уделено минимизации энергопотребления, что, в свою очередь, позволяет продлить срок службы элементов питания. Ток потребления зависит от частоты тактового сигнала и напряжения питания, причем, как известно, ток потребления и тактовая частота связаны прямой пропорциональной зависимостью [3]. Поэтому, зная ток потребления при конкретной величине тактовой частоты, можно определить ток потребления микроконтроллера на любой другой частоте. Например, ток потребления микроконтроллеров MSP430F13x/14x при тактовой частоте  $f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 1$  МГц,  $f_{ACLK} = 32\,768$  Гц в диапазоне температур  $-40...85$  °С и напряжении пита-

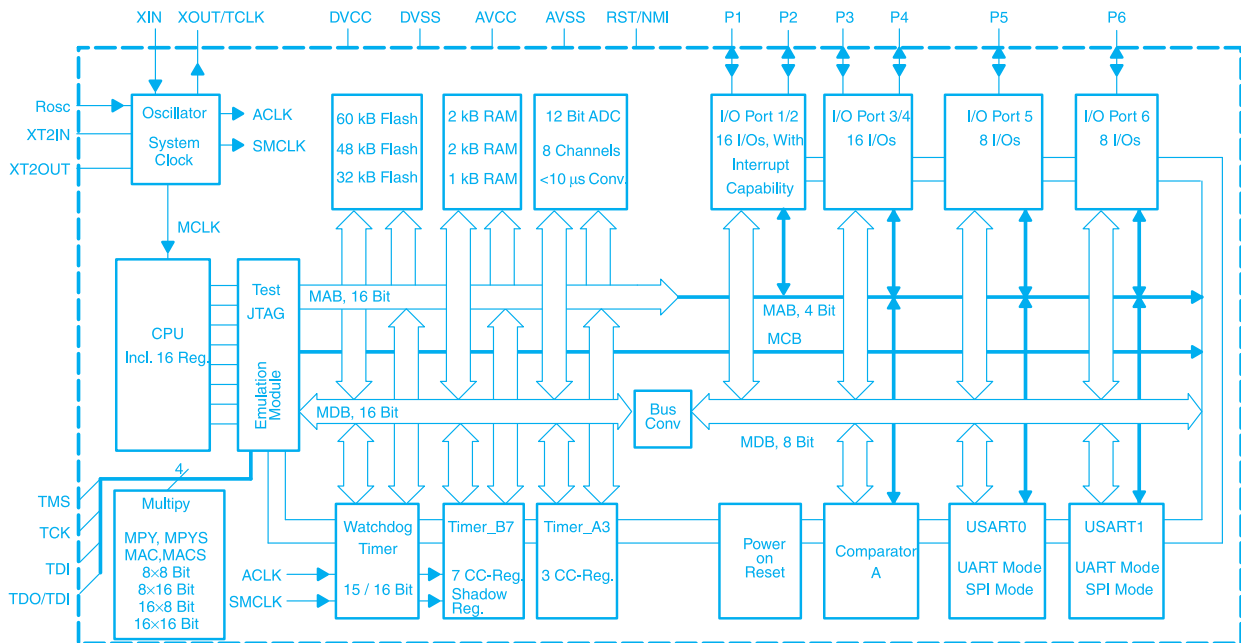


Рис. 2. Структурная схема микроконтроллеров MSP430F14x

ния 2.2 В составляет 280 мкА (типовое значение) [3]. Кроме того, фирма Texas Instruments в документации на микроконтроллеры MSP430F13x/14x приводит следующую расчетную формулу для определения тока потребления в активном режиме (Active Mode – AM) в зависимости от напряжения питания:

$$I_{AM}(E_{пит}) = I_{AM}(3 В) + (E_{пит} - 3 В) \times 175 \text{ мкА/В} [3].$$

В микроконтроллерах MSP430F заложены широкие возможности по управлению энергопотреблением, которые реализуются за счет отключения тактового сигнала процессорного ядра (MCLK) и периферийных устройств (SMCLK), а также за счет уменьшения частоты соответствующих тактовых сигналов. Поэтому у разработчиков всегда имеется возможность выбора наиболее оптимального режима работы микроконтроллера. Во-первых, всегда можно установить такую тактовую частоту процессорного ядра, которая обеспечит наиболее оптимальную производительность для решения каждой конкретной задачи. Во-вторых, можно минимизировать ток потребления периферийных устройств за счет уменьшения частоты тактового сигнала или его отключения. В-третьих, можно ограничить время работы микроконтроллера в активном режиме, то есть после выполнения необходимых вычислений микроконтроллер следует переключать в один из пяти энергосберегающих режимов. Выход из всех энергосберегающих режимов осуществляется по сигналам прерываний. Если подпрограмма обработки прерывания завершается инструкцией RETI, микроконтроллер возвращается в тот режим работы, в котором он находился перед получением запроса на прерывание.

В микроконтроллерах MSP430F заложены шесть режимов работы: активный (AM) и пять энергосберегающих LPM0...LPM4 (Lower Power Mode). Выбор режи-

мов работы микроконтроллера осуществляется программно (разряды CPUOff, OSCOff, SCG0, SCG1 в регистре состояния процессорного ядра). На рис. 3 приведена диаграмма зависимости тока потребления микроконтроллеров MSP430F13x/14x от режима работы и напряжения питания [4].

Генерация и формирование тактовых сигналов, за счет изменения частоты которых осуществляется управление электропотреблением микроконтроллеров MSP430F, выполняются в базовом модуле формирования тактовых сигналов. В микроконтроллерах MSP430F1xx и MSP430F4xx реализованы разные структуры этого модуля. Базовый модуль формирования тактовых сигналов микроконтроллеров MSP430F1xx содержит: два генератора XT1 и XT2; формирователь тактовых сигналов и RC-генератор, управляемый кодом (Digitally-Controlled Oscillator – DCO). Модуль генерирует и формирует тактовые сигналы для работы процессорного ядра (MCLK) и периферийных устройств (SMCLK), а также вспомогательный тактовый сигнал ACLK, который также может использоваться для периферийных устройств. Сверхэконо-

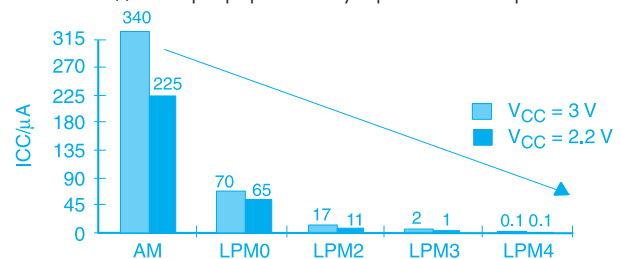


Рис. 3. Диаграмма зависимости тока потребления MSP430F13x/14x от режима работы и напряжения питания

мичный генератор XT1 предназначен для подключения "часового" (32 768 Гц) кварцевого резонатора, а также керамического (частота от 450 до 8000 кГц) или кварцевого (частота от 1000 до 8000 кГц) резонатора. При подключении "часового" резонатора обеспечивается минимальный ток потребления. Генератор XT2 предназначен только для работы с высокочастотными керамическими или кварцевыми резонаторами (частота от 450 до 8000 кГц). Для подключения "часового" кварца не требуются дополнительные внешние компоненты. Все тактовые сигналы (ACLK, MCLK, SMCLK) через соответствующие выходы портов ввода/вывода могут использоваться внешними по отношению к микроконтроллеру устройствами. Встроенный DCO генерирует фиксированный набор частот и обеспечивает возможность работы микроконтроллера и без использования внешних резонаторов. Однако DCO присущи все те недостатки, которыми отличаются RC-генераторы – зависимость генерируемой частоты от напряжения питания и температуры. Поэтому для получения стабильной частоты тактирования микроконтроллеров MSP430F1xx необходимо использовать внешние кварцевые резонаторы. Хотя DCO генерирует фиксированный набор частот, среднее значение частоты на выходе DCO на длительном интервале времени может быть выбрано любым, т. е. отличаться от фиксированных частот из набора DCO, что достигается за счет поочередной коммутации на выход DCO сигналов двух соседних частот из набора в любом заданном соотношении длительности подключения. Переключение частот осуществляется специальным устройством – модулятором, а управление его работой – программно. В отличие от генераторов с кварцевыми резонаторами, которые имеют сравнительно большое время выхода на рабочий режим после включения питания (примерно несколько миллисекунд), время выхода на рабочий режим DCO составляет всего 4 мкс. Таким образом, гарантированное время перехода микроконтроллеров MSP430 из энергосберегающих режимов в активный (AM) составляет 6 мкс.

**Процессорное ядро.** RISC-подобное фон-неймановское процессорное ядро содержит шестнадцать 16-разрядных регистров, из которых четыре составляют: программный счетчик, указатель стека, регистр состояния и регистр формирования констант. Другие двенадцать регистров можно использовать в качестве регистров общего назначения, в том числе и как аккумуляторы, адресные регистры (для косвенной адресации), регистры для хранения операндов. Процессорное ядро выполняет набор инструкций (27 основных RISC-подробных и 24 дополнительных), совместимых с инструкциями, реализованными в других микроконтроллерах семейства MSP430. Во всех типах инструкций могут быть реализованы семь способов адресации. Отдельный аппаратный умножитель позволяет увеличить производительность процессорного ядра при выполнении операций цифровой обработки сиг-

налов. Умножитель выполняет знаковые и беззнаковые операции умножения (16×16, 16×8, 8×16 или 8×8 разрядов), а также умножение с накоплением.

**Память.** В микроконтроллерах MSP430F имеется память типа флэш и RAM. Сверхэкономичная флэш-память включает основной блок, состоящий из сегментов объемом по 512 байт, и дополнительную (информационную) память, которая состоит из сегментов А и В по 128 байт. Стирание и запись основной памяти могут выполняться одновременно во всех сегментах или отдельно в каждом из них. Для выполнения операций стирания/записи флэш-памяти не требуется специальный внешний источник напряжения. В процессе операции стирания/записи не допускается выполнение программы, размещенной во флэш-памяти, при этом все прерывания должны быть запрещены. Если в процессе стирания/записи необходимо выполнять программу, программный код должен быть размещен в памяти типа RAM или Boot-ROM. Если в программный счетчик будет загружен адрес области флэш-памяти до тех пор, пока не завершатся операции стирания/записи флэш-памяти, инициируется выполнение холостых циклов.

**Таймер А** содержит 16-разрядный счетчик и три регистра захвата/сравнения. Источником тактового сигнала для счетчика могут служить внутренние тактовые сигналы ACLK, SMCLK или один из двух внешних сигналов. Частота тактового сигнала на входе счетчика может быть равна частоте указанных сигналов в два, четыре или восемь раз меньше. Выбор источника тактирования и коэффициента деления осуществляется программно. Предусмотрено несколько режимов работы счетчика: счет на увеличение или уменьшение, останов, непрерывный счет и другие. Каждый из трех каналов захвата/сравнения может работать в режиме входного захвата или выходного сравнения. Режимы работы определяются пользователем.

Режим входного захвата чаще всего используется для измерения временного интервала между "внутренними" или "внешними" событиями. Каждый из трех регистров захвата может иметь несколько источников сигнала захвата. Это могут быть внешние сигналы (порты P1.1, P1.2, P1.3, P2.2) или внутренние (тактовый сигнал ACLK или сигнал с выхода аналогового компаратора). Выполнение входного захвата по сигналу аналогового компаратора дает возможность на базе компаратора реализовать интегрирующий АЦП, косвенно измерять величину тока и напряжения [3, 4]. Захват может осуществляться при любом изменении сигнала на входе блока захвата (нарастающим или спадающим фронтом сигнала или комбинацией этих сигналов).

Режим выходного сравнения чаще всего используется для программной генерации временных интервалов или формирования ШИМ-сигнала, используемого в разных приложениях. Сигнал с выхода каждого из компараторов сравнения может поступать на один из





трех определенных выводов микроконтроллера (выбирается программно). Выход одного из компараторов может подключаться к блоку управления АЦП.

Для таймера А выделено два вектора прерывания.

**Таймер В** может содержать семь регистров захвата/сравнения (например, MSP430F14x) или три регистра (MSP430F13x). Работа таймера В во многом аналогична работе таймера А. 16-разрядный счетчик может быть конфигурирован как 8-, 10- 12- или 16-разрядный. В канале выходного сравнения между регистром сравнения и компаратором введен еще один дополнительный буферный регистр, данные в который перезагружаются из регистра сравнения. Запись данных в буферный регистр осуществляется по внутреннему сигналу, который формируется в результате выполнения определенных условий. Кроме того, данные в буферный регистр можно загружать программно. В каналах выходного сравнения таймера В предусмотрено два выхода на АЦП. Как и для таймера А, для таймера В выделено два вектора прерывания.

**"Сторожевой" таймер** формирует сигнал сброса, если в течение заданного времени счетчик не будет обнулен. Если не требуется использовать "сторожевой" таймер по прямому назначению, его можно применять для формирования сигналов прерывания через заданные временные интервалы. "Сторожевой" таймер реализован на базе 15-/16-разрядного счетчика. Управление таймером осуществляется программно.

**АЦП** организован как восьмиканальный 12-разрядный АЦП последовательного приближения со встроенной схемой выборки/хранения и источниками эталонного напряжения (1.5 или 2.5 В). Кроме того, в составе АЦП имеется температурный датчик на базе диода и RC-генератор (частота от 3.7 до 6.3 МГц). Типовой ток потребления АЦП при напряжении питания 3 В, внешнем источнике эталонного напряжения и тактовой частоте 5 МГц составляет 0.5 мА. Максимальное время преобразования составляет 3.5 мкс при частоте встроенного тактового генератора (ADC12OSC) 6.3 МГц. В качестве входов АЦП используются входы порта P6. Источниками тактового сигнала для АЦП могут быть сигналы ACLK, MCLK, SMCLK или сигнал генератора ADC12OSC. Начало преобразования можно инициировать программно или по сигналу от таймера А или В. Схема управления АЦП позволяет реализовывать несколько режимов работы: последовательный опрос входных каналов, опрос группы каналов, опрос каналов в любой заданной последовательности и другие. Источник эталонного напряжения выбирается отдельно для каждого из каналов. Данные преобразования автоматически пересылаются в буферные 16-разрядные регистры. В некоторых микроконтроллерах MSP430F реализован восьмиканальный 10-разрядный АЦП, который по структуре и параметрам аналогичен 12-разрядному АЦП.

**Порты ввода/вывода.** Количество линий портов ввода/вывода в модификациях микроконтроллеров

определяется количеством выводов корпуса (см. таблицу). В MSP430F14x имеются шесть 8-разрядных портов ввода/вывода. Входы портов P1 и P2 можно использовать для подключения внешних сигналов прерывания. Входы порта P6 используются в качестве входных каналов АЦП. Для управления портами P1 и P2 имеется семь регистров управления/контроля, для управления портами P3...P7 – четыре регистра. Для каждого из портов P1 и P2 выделен один вектор прерывания.

**USART-порты.** В микроконтроллерах MSP430F имеется один или два USART-порта (USART0 и USART1), через которые выполняется обмен данными в последовательном формате со стандартными внешними устройствами. USART-порты могут поддерживать синхронный (режим SPI) или асинхронный (режим UART) обмен данными. USART-порты в режиме UART имеют режим со сниженным энергопотреблением. Для каждого из USART-порта выделено два вектора прерывания.

**Компаратор.** В составе прецизионного компаратора имеются: входной мультиплексор, осуществляющий подключение входов компаратора; два источника эталонного напряжения ( $0.25E_{пит}$  и  $0.5E_{пит}$ ), реализованные на резистивных делителях; программно подключаемый RC-фильтр. Выход компаратора может подсоединяться к каналу входного захвата (таймер А) или на выход микроконтроллера. Если входы компаратора не используются, они должны были подключены к шине питания или к общему проводу. В противном случае могут инициироваться непредсказуемые запросы на прерывание, а кроме того, может увеличиться ток потребления. Включение и выключение компаратора осуществляется программно и если он не используется для уменьшения тока потребления, его следует отключать. Компаратор позволяет косвенно измерять сопротивление, ток, напряжение, контролировать напряжение элементов питания, а также измерять время заряда и разряда конденсаторов.

*Более детальную информацию о микроконтроллерах MSP430F и примерах их применения можно найти в сети Интернет по адресу: [www.ti.com](http://www.ti.com)*

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. MSP430F Ultra-Low-Power Microcontrollers – The Solution for Battery-Powered Measurement. Product Bulletin Q4-2001. – Texas Instruments, 2001.
2. MSP430F Ultra-Low Power Microcontrollers ([www.ti.com](http://www.ti.com)).
3. MSP430Fx13x, MSP430Fx14x Mixed Signal Microcontroller. – Texas Instruments, 2000.
4. CD ROM. MSP430. Ultra-Low-Power Microcontroller. – Texas Instruments, July 2001.
5. Latest MSP430 Ultra-Low-Power Flash MCUs from Texas Instruments increase mixed-signal processing performance 50 times ([www.ti.com](http://www.ti.com)).
6. Микросхемы для радиосвязи в системе ПНМ (ISM) // ЭКиС, № 6, 2001.

## МОСТОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ КЛАССА D AD1991 \*

Применение усилителей, работающих в режиме класса D, позволяет решить проблему отвода тепла из ограниченного объема, благодаря высокому КПД и, как следствие, малой рассеиваемой мощности. Такие усилители используются в мобильных системах связи, автомобильной электронике и во многих других устройствах, в которых необходимо обеспечить высокую экономичность. В статье рассмотрена подготовленная фирмой Analog Devices к серийному выпуску микросхема усилителя мощности AD1991, работающего в режиме класса D.

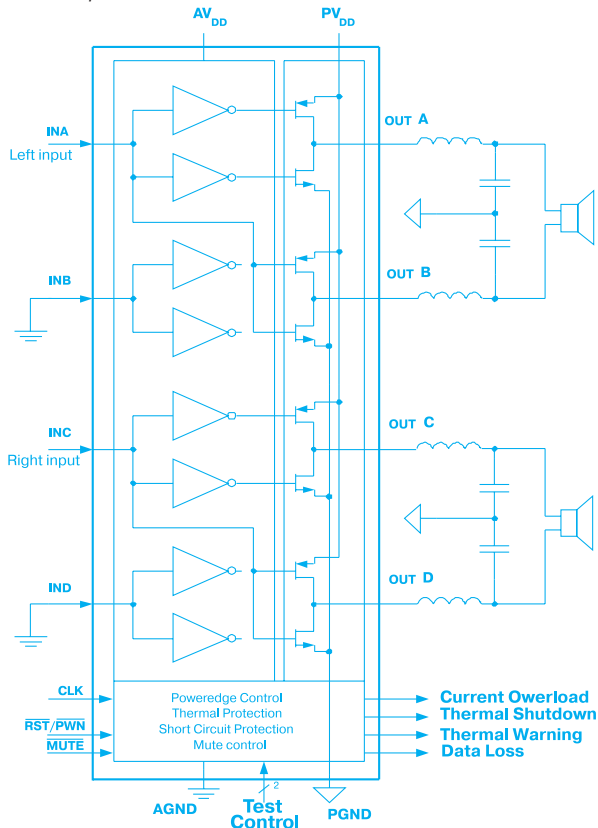


Рис. 1. Функциональная схема включения AD1991 в режиме двухканального усилителя

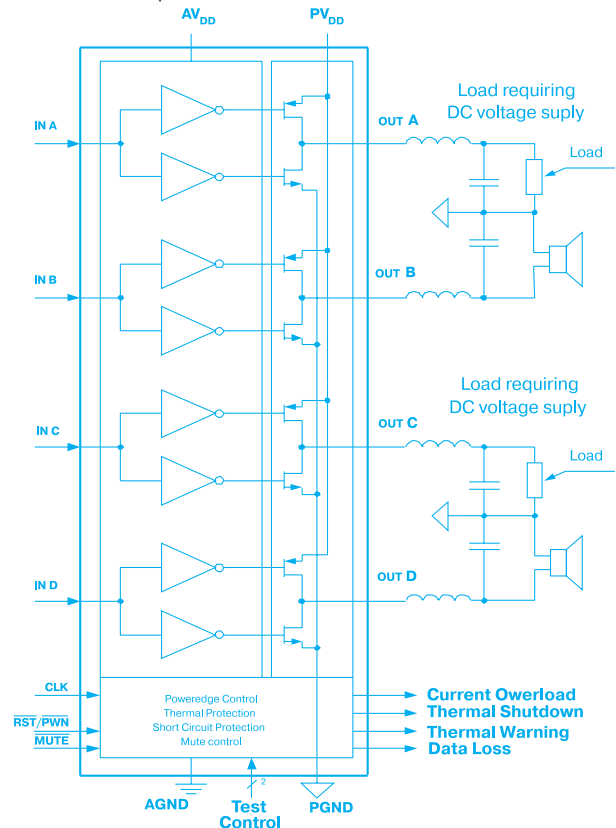


Рис. 2. Функциональная схема включения AD1991 в режиме четырехканального усилителя

### Основные технические характеристики мостового усилителя AD1991:

- выходная мощность каждого канала при величине нелинейных искажений не более 10 %:
  - 2x20 Вт на нагрузке 4 и 8 Ом
  - 1x40 Вт на нагрузке 4 и 2 Ом
- выходное сопротивление  $R_{ON} \leq 0.2 \text{ Ом}$ .
- коэффициент полезного действия, измеренный при нагрузке 8 Ом и полной выходной мощности 90 %
- питание от однополярного источника напряжением от 12 до 20 В
- электронное управление режимами выключения питания и отключения входов
- возможность подавления импульсных помех на выходе усилителя
- наличие схемы контроля и защиты от короткого замыкания в нагрузке
- наличие схемы контроля и защиты от перегрева ИС
- режимы работы:
  - два канала с мостовым включением усилителей
  - четыре канала с раздельным

выходом каждого усилителя

- один канал с большим выходным током.

Усилитель можно использовать и как DC/DC преобразователь. На рис. 2 показана подключенная к выходам А и С нагрузка, питание которой осуществляется постоянным напряжением. Для формирования постоянного напряжения на выходе достаточно подать на соответствующий вход усилителя импульсное напряжение с фиксированной скважностью.

\* New Products Analog Devices. Volume 2001, Number 2.

## КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО МОНТАЖУ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ \*

*Краткий справочник заводского технолога, составленный специалистами фирмы AIM (США), содержит упрощенное изложение технологии монтажа печатных плат, анализ причин возникновения характерных производственных дефектов и рекомендации по их устранению. Справочник разбит на разделы, размещенные в порядке прохождения платой операций сборки.*

### ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ПАЯЛЬНОЙ ПАСТОЙ

Непредсказуемое количество дефектов поверхностного монтажа возникает в результате нарушения правил обращения с паяльной (припойной) пастой до того, как ее извлекут из упаковки. Методы транспортировки, хранения и нанесения пасты являются причиной возникновения многих из встречающихся при ее использовании проблем. Путем выбора оптимального метода можно уменьшить число этих проблем или совсем избежать их. Ниже приведен перечень факторов, учет которых позволит минимизировать количество производственных дефектов.

**Ключевые слова:** *нагрев; влага; замерзание; транспортировка, доставка, хранение, подготовка, разогрев, смешивание, разжижение, повторное использование пасты; условия трафаретной печати.*

Из-за того, что паяльная паста содержит два ингредиента с различным удельным весом (металл и флюс), в некоторых сортах паст после хранения на поверхности отстает немного флюса. Чрезмерный **нагрев** и длительное хранение могут привести к существенному разделению ингредиентов пасты. Это вызовет изменение реологии пасты, и она не будет растекаться надлежащим образом. Поэтому пасту необходимо оберегать от перегрева.

**Влага** является основным "врагом" паяльных паст. Все пасты в некоторой степени гигроскопичны, и поэтому следует избегать работы с ними при повышенной влажности. Влага может вызвать или повысить окисление порошка припоя. Это, в свою очередь, приведет к тому, что активатор, входящий в состав флюса, будет расходоваться на очистку от окиси порошка припоя, а не паяемых деталей. В результате может ухудшиться или пропасть смачивание их припоем. Избыточная влажность паст некоторых сортов вызывает сокращение времени сохранения их клейкости, растекание (расползание) отпечатков и разбрызгивание флюса и припоя при оплавлении пасты, что приводит к образованию перемычек и шариков припоя.

**Замораживание** пасты может привести к вымораживанию активатора из растворителя, входящего в состав флюса, и ухудшению ее смачивающих свойств.

Чтобы избежать вредного воздействия высокой температуры окружающей среды, в жаркое время года **транспортировать** паяльную пасту рекомендуется ночью. Сразу же после **доставки** паяльную пасту необходимо поместить в специальное хранилище. Оптимальная температура хранения пасты  $7.2 \pm 5.6$  °С. Если это условие не выполняется, допустимый срок хранения пасты сокращается вдвое. Оптимальные **условия трафаретной печати:** относительная влажность воздуха 40...50 %, температура 22...26.6 °С. Кроме того, трафарет не следует обдувать воздушными потоками, поскольку это может вызвать высыхание паяльной пасты.

⇒ **СОВЕТ.** *Устройства трафаретной печати, в которых используются внешние контроллеры параметров окружающей среды, по умолчанию включают обдув трафарета воздухом. В некоторых случаях это делается преднамеренно, но обычно это просто типовой режим работы контроллера. Потоки воздуха в зоне расположения трафарета можно существенно уменьшить или устранить путем несложной доработки устройства трафаретной печати.*

Надлежащая **подготовка пасты** крайне важна для того, чтобы получить гарантированные изготовителем свойства. Нельзя выполнять работы с пастой или наносить ее при пониженной температуре. Если контейнер с охлажденной пастой открыть при комнатной температуре, на ее поверхности может сконденсироваться влага, что приведет к растеканию отпечатков, разбрызгиванию флюса и/или припоя, смещению компонентов и/или возникновению других технологических дефектов. Чтобы избежать возникновения этих проблем, паяльную пасту перед использованием нужно нагреть до температуры окружающей среды. Типовое время установления теплового баланса с окружающей средой составляет от 4 до 6 часов. До истечения этого времени не распечатывайте и не открывайте упаковку с пастой, не перемешивайте пасту. Даже если через некоторое время контейнер с пастой на ощупь будет казаться теплым, внутри контейнера паста может иметь пониженную температуру. Принудительно не нагревайте пасту, поскольку это может привести к отставанию флюса и возникновению других вышеупомянутых проблем, связанных с перегревом.

⇒ **СОВЕТ.** *Если открыть банку или кассету с охлажденной пастой и перемешать, то можно довести ее до консистенции, пригодной для использования, но при этом паста не нагреется. Ни в коем случае не делайте этого.*

\* *Karl Seeling, Jim Wertin, David Suraski. The Quick Pocket Reference for Solder Assembly. – AIM Inc., 2000. Перевод А. Ермоловича, ЭКиС.*

Когда паста нагреется до температуры окружающей среды, тщательно **перемешайте** ее легкими движениями в одном направлении в течение 1...3 минут с использованием специального шпателя, который придается к банке с пастой, или специального инструмента, размещенного в кассете с пастой. Это обеспечит равномерное распределение в объеме пасты отстоявшихся ингредиентов. Однако не переусердствуйте, размешивая пасту слишком энергично или долго. Это может вызвать чрезмерное **разжижение** и привести к растеканию отпечатков и/или образованию перемычек.

Хотя **повторно использовать пасту** не рекомендуется, ее можно собрать с трафарета, хранить отдельно и применять повторно. Использованную пасту можно применять только в смеси со свежей пастой. Чтобы получить консистенцию смеси, требуемую для трафаретной печати, следует подобрать соотношение объемов порций использованной и свежей пасты. Чтобы избежать ухудшения свойств паяльной пасты, рекомендуется добавлять использованную ранее пасту в свежую малыми порциями в течение смены или рабочего дня так, чтобы до конца работы и очередной очистки трафарета израсходовать ее всю. Следует отметить, что во многих фирмах для предотвращения возникновения технологических проблем запрещено повторное использование паяльной пасты.

⇒ **СОВЕТ.** Не храните в одном контейнере использованную и свежую паяльную пасту. Это может привести к повышению влажности или загрязнению свежей пасты и ухудшению ее характеристик.

### ТРАФАРЕТНАЯ ПЕЧАТЬ

Вы полагаете, что купив дорогой автоматический принтер (устройство трафаретной печати паяльной пасты), избежите проблем, связанных с нанесением паяльной пасты на контактные площадки? Нет гарантий. Это дорогостоящее устройство обладает надежностью и высокой точностью, но из-за влияния параметров технологического процесса результат трафаретной печати не всегда будет таким, на какой Вы рассчитываете. Ниже рассмотрены параметры, значения которых следует особенно тщательно контролировать при наладке принтера.

**Ключевые слова:** *настройка принтера, опора/фиксация платы, размеры платы, ширина конвейера, скорость ракеля, давление ракеля, вычерпывание пасты, выдавливание пасты, зазор разделения, скорость разделения, зазор печати/отрыва, контактная печать, очистка трафарета.*

Как узнать, будет ли принтер работать надлежащим образом, что особенно важно при его использовании в предельных режимах? Для этого после **настройки принтера** загляните в него. Давайте поэтапно рассмотрим каждый из критичных параметров начальной настройки принтера, и Вы сами поймете, на что в

принтере нужно обратить внимание.

Надежность **опоры/фиксации платы** – это один из тех параметров, на которые чаще всего не обращают внимания. Удивительно малое усилие нужно приложить для деформации платы в случае, когда она удерживается только за два края. Создание надлежащей опоры для платы, на которую наносится паста, является неотъемлемой частью процесса задания начальных установок. Без этого многие последующие настройки окажутся неэффективными или придется приложить много усилий, чтобы скомпенсировать неправильно введенные параметры.

⇒ **СОВЕТ.** Целью создания опоры для платы является устранение прогиба ее при нанесении пасты. Если Вы усомнились в надежности опоры, то, вероятнее всего, плата прогибается.

Точная информация о **размерах платы** так же важна, как и надежная опора. Для начальной настройки нужны результаты измерения длины X, ширины Y и толщины Z платы. В большинстве автоматических принтеров ось X ориентирована вдоль конвейера, Y – поперек, а Z – снизу вверх. В принтерах с высокой степенью автоматизации плата автоматически центрируется по осям X и Y. Однако наиболее критичным является положение платы по оси Z.

В автоматизированных принтерах параметр толщины платы влияет на величину зазора между ней и трафаретом, поэтому пока не введено корректное значение толщины платы, не следует задавать и проверять величину зазора. В некоторых автоматизированных принтерах размеры платы X и Y используются также для определения величины хода ракеля, хода очистителя ракеля, места и длины зоны полива пасты.

Один из способов проверки качества наладки принтера состоит в том, чтобы после ввода толщины платы выполнить операцию ее загрузки в принтер до того момента, когда плата поднимется до высоты нанесения рисунка и станет видна. В этой точке верх платы должен быть расположен вровень с верхом конвейера. Любое смещение платы вниз или вверх может привести к повреждению ракеля или трафарета, или (в лучшем случае) к плохому качеству печати.

⇒ **СОВЕТ.** При вводе толщины платы не полагайтесь, что она известна, а измерьте толщину штангенциркулем. Убедитесь, что верх печатной платы находится на уровне верха конвейера.

**Ширину конвейера** отрегулируйте так, чтобы она с максимальной точностью соответствовала ширине платы, и плата не защемлялась при подаче в принтер или выгрузке из него. Эта простейшая регулировка может существенно повысить повторяемость результатов печати и уменьшить время пребывания платы в принтере за счет минимизации числа циклов ориентации платы относительно трафарета.

**Скорость ракеля**, которую называют также скоростью печати, – это скорость движения ракеля во время

нанесения пасты на плату. Типовое значение скорости движения ракеля составляет от 1 до 3 дюймов в секунду (2.5...7.5 см/с), но обычно принтеры имеют более широкий диапазон изменения скорости: от 0.2 до 8 дюймов в секунду (0.5...20 см/с). Поэтому скорость движения ракеля может изменяться в широких пределах в зависимости от типа платы.

Скорость движения и давление ракеля связаны прямо пропорциональной зависимостью. Чем выше скорость ракеля, тем больше должно быть давление ракеля для того, чтобы обеспечивалось полное удаление пасты с поверхности трафарета.

По мере увеличения скорости и давления ракеля увеличивается выделение тепла на границе трафарета и ракеля. Это приводит к формированию увеличенных порций пасты и возникновению таких проблем, как растекание отпечатков и выдавливание пасты под трафарет, что является причиной образования перемычек между контактными площадками. Кроме того, при высокоскоростной печати ускоряется износ ракеля и трафарета, что приводит к смещению или уменьшению размера отпечатков, уменьшению объема порций пасты и "выдергиванию" их из окон трафарета. При высокоскоростной печати нужно более надежно фиксировать плату и чаще очищать трафарет.

При введении начальных установок высокоскоростной печати в первую очередь нужно согласовать скорость печати со скоростью работы оборудования для установки компонентов. Если возможно, используйте низкоскоростную печать.

Чтобы обеспечить высокое качество печати, следует точно контролировать такие критичные параметры, как скорость печати, давление ракеля, скорость отделения трафарета и расстояние, на которое он отводится. Затем можно варьировать некритичные параметры для оптимизации времени печати. Этот метод управления работой принтера обеспечивает высокое качество печати и стабильную реологию паяльной пасты.

⇒ **СОВЕТ.** Небольшое увеличение (даже на 1 дюйм в секунду) скорости печати может помочь решить путем разжижения пасты такие проблемы печати, как большая толщина слоя пасты, налипание ее на ракель и плохое отделение порций пасты из окон трафарета.

Если нужно обеспечить высокую скорость печати, тщательно контролируйте критичные параметры и повышайте скорость выполнения некритичных операций.

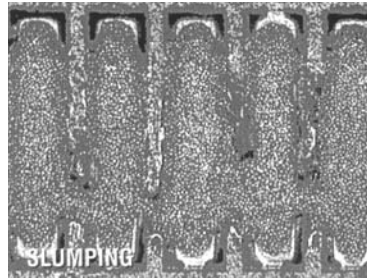
**Давление ракеля** – это давление кромки ракеля на поверхность трафарета, измеряемое в фунтах на квадратный дюйм или килограммах на квадратный сантиметр. Целью выбора оптимальной величины давления ракеля является обеспечение надлежащего заполнения окон трафарета по всей его ширине и хорошей очистки его верхней поверхности. Типовое начальное

значение давления – 0.7...1.5 фунта на линейный дюйм (125...270 г/см) ширины зоны печати (но не длины кромки ракеля). Использование ширины зоны печати вместо длины кромки ракеля при установке началь-

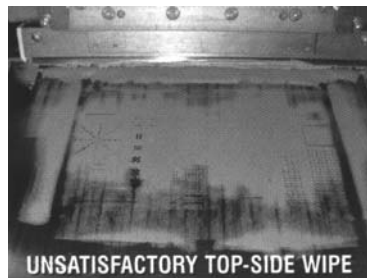
ного давления поможет обеспечить установку силы давления, не превышающей рабочего значения.

В идеальном случае длина ракеля должна превышать ширину зоны печати с каждой стороны на 0.5...0.75 дюйма. Можно использовать ракель большей длины, но в этом случае все участки ракеля должны перемещаться по трафарету. При увеличенной длине ракеля паста может более широко растекаться по неиспользуемой части трафарета. Убедитесь, что с трафарета собирается вся неиспользованная паста.

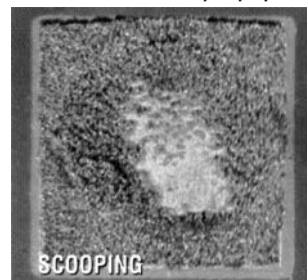
Избыточное давление ракеля может привести к **вычерпыванию** пасты (удалению пасты по центру отпечатка), особенно при использовании мягких ножей, и **выдавливанию пасты** под трафарет. О выдавливании пасты свидетельствует наличие частиц припоя на паяльной маске около окон трафарета. Другим индикатором слишком высокого давления ракеля являются расплюснутые частицы припоя около края отпечатка. Чтобы скорректировать этот дефект, уменьшите давление на ракель до появления мазков пасты на верхней поверхности трафарета. Затем увеличьте давление до ее полной очистки.



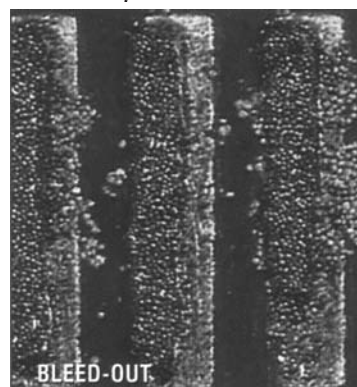
**Растекание отпечатков**



**Плохая очистка трафарета**



**Вычерпывание пасты**



**Выдавливание пасты**

тицы припоя около края отпечатка. Чтобы скорректировать этот дефект, уменьшите давление на ракель до появления мазков пасты на верхней поверхности трафарета. Затем увеличьте давление до ее полной очистки.

⇒ **СОВЕТ.** Установите давление ракеля, достаточное для достижения хорошей очистки поверхности ракеля. Излишние остатки пасты на трафарете могут привести к плохому выходу порций пасты из его окон, формированию отпечатков с рваными краями, быстрому высыханию пасты и ее отсутствию в отдельных окнах трафарета. Избыточная длина ракеля может ускорить высыхание пасты. Убедитесь, что вся паста с неиспользуемых участков трафарета собирается и регулярно возвращается в рабочую зону.

Легкоформируемые пасты, обладающие низкой вязкостью, требуют меньшего давления ракеля, чем более вязкие. Для них обычно устанавливается давление один фунт на линейный дюйм (180 г/см). Для более вязких паст обычно требуется давление 1.5 фунта на линейный дюйм (270 г/см).

Скорость движения и давление ракеля связаны прямо пропорциональной зависимостью, поэтому при уменьшении скорости печати нужно пропорционально снизить давление ракеля. В этом случае не возникнут проблемы, связанные с неправильной установкой давления ракеля.

**Зазор разделения** – это регулируемое, устанавливаемое предварительно расстояние между трафаретом и платой, на которое они в конце цикла печати разводятся с заданной скоростью. Эта скорость называется скоростью разделения.

После завершения хода ракеля он еще некоторое время поднимается над платой и затем начинается разделение трафарета и платы. Расстояние между платой и трафаретом возрастает сначала с заданной в начальных установках скоростью разделения, а при достижении заданного в начальных установках зазора разделения скорость разделения возрастает до максимума.

Так создается регулируемый зазор между порциями пасты и окнами трафарета, что позволяет формировать порции пасты с высокой повторяемостью. Зазор разделения должен выбираться достаточно большим для того, чтобы окна трафарета освободились от порций пасты до того, как скорость отделения трафарета возрастет до максимума.

Зазор задается в тысячных долях дюйма или в миллиметрах. Рекомендуемая начальная величина зазора, обеспечивающего полный выход порций пасты из окон трафарета, составляет 0.1 дюйма (2.54 мм); в случае, когда нужно сократить время печати, этот зазор можно уменьшить. Однако, если зазор уменьшен чрезмерно, ухудшится разрешение и снизится качество печати.

Необходимо удостовериться, что в начальных установках задан достаточно большой зазор разделения, компенсирующий деформацию платы в направлении оси Z, которая возникает в результате ее прогиба или

по иным причинам. Если это не так, величину зазора нужно увеличить, чтобы обеспечить нужный просвет между порциями пасты и окнами трафарета при возрастании скорости его движения.

⇒ **СОВЕТ.** Помните, что при увеличении зазора разделения возрастает время печати. Поэтому не следует превышать оптимальное значение величины зазора, которое обеспечивает надежное освобождение окон трафарета от порций пасты.

При запуске в производство новых, неосвоенных изделий следует установить максимальный зазор и затем, по мере увеличения объема выпуска продукции, уточнить оптимальное значение величины зазора.

**Скорость разделения** – это один из регулируемых параметров, который вместе с величиной зазора разделения используется для управления разделением платы и трафарета. Оптимальные значения зазора и скорости разделения обеспечивают создание надлежащих условий для освобождения окон трафарета от порций пасты. Скорость разделения может задаваться в тысячных долях дюйма в секунду, миллиметрах в секунду или процентах от максимальной скорости.

Закономерность такова, что чем ниже скорость разделения, тем выше повторяемость результатов трафаретной печати. Большое значение скорости разделения может привести к образованию выступов пасты на краях отпечатков (эффект "собачьих ушей"), образованию заусенцев, комков пасты, засорению окон трафарета остатками пасты и большому разбросу объема порций пасты в пределах трафарета. Эти дефекты подробно рассмотрены в разделе "АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЕЧАТИ".

Для микросхем с малым шагом расположения выводов или микросхем в корпусе micro-BGA рекомендуется устанавливать значение скорости разделения 0.01...0.02 дюйма в секунду (0.254...0.508 мм/с) или 10...20 % максимальной скорости. При печати с менее жесткими требованиями можно установить скорость разделения 0.03...0.05 дюйма в секунду (0.762...1.27 мм/с) или 30...50 % от максимальной скорости. Хотя во многих случаях, когда нужно обеспечить максимальную скорость печати, или действуют другие ограничения, можно устанавливать максимальную скоростью разделения, но лучше этого не делать.

⇒ **СОВЕТ.** При нанесении пасты на площадки для установки микросхем в корпусах с малым шагом расположения выводов или в корпусе micro-BGA устанавливайте минимальную скорость разделения.

**Зазор печати/отрыва** – это регулируемое расстояние между верхней стороной печатной платы и нижней стороной трафарета при формировании отпечатков. Зазор печати может вводиться для увеличения объема порций паяльной пасты или для того, чтобы они легче

выходили из окон трафарета.

Если зазор печати задается при использовании паяльной пасты с пониженной вязкостью, могут формироваться паразитные перемычки из-за подтекания пасты под трафарет. При использовании других сортов пасты может искажаться форма отпечатков или возникать другие дефекты трафаретной печати.

Если оборудование правильно отрегулировано, установлено точное значение толщины платы и задано нулевое значение зазора печати, будет реализована **контактная печать**. Трафарет должен только слегка касаться платы, а плата не должна выгибать трафарет вверх (явление, известное как отрицательное значение координаты Z). Если корректно задать режим контактной печати, во время печати трафарет будет плотно прилегать ко всем контактным площадкам и препятствовать формированию паразитных перемычек из-за выдавливания пасты под трафарет даже при использовании микросхем со сверхмалым шагом расположения выводов. Контактная печать также обеспечивает формирование более однородных отпечатков.

⇒ **СОВЕТ.** При проверке наличия режима контактной печати убедитесь, что перед измерением величины зазора печати был отключен вакуумный захват платы.

Хотя печать с зазором имеет ряд явных преимуществ, характерной проблемой при ее использовании является отсутствие повторяемости результатов печати.

Частота **очистки трафарета** в значительной мере определяется факторами, связанными с качеством трафарета и окон в нем, точностью и воспроизводимостью регулировок принтера, качеством обработки поверхности платы, давлением при печати, типом ракеля, вязкостью пасты и точностью поддержания параметров окружающей среды.

Частота очистки трафарета должна быть достаточно высокой для того, чтобы обеспечить полное удаление остатков пасты с его нижней поверхности. При редкой очистке остатки пасты успевают высохнуть или запечься, что значительно повышает трудоемкость очистки трафарета.

В некоторых случаях очистку требуется выполнять после каждой операции нанесения пасты на плату, в то время как в других случаях трафарет можно очищать один раз в смену, или же вообще не выполнять операцию очистки. Независимо от того, как часто Вы очищаете трафарет, чтобы убедиться в том, что его действительно нужно чистить так часто, снимите его и осмотрите нижнюю поверхность.

Перед тем как приступить к чистке трафарета растворителем, рекомендуется выполнить автоматизированную сухую чистку нижней поверхности. Если после сухой чистки трафарет остается загрязненным, рекомендуется очистить трафарет специальным чистящим раствором.

Хороший чистящий раствор должен удалять остатки пасты и не ухудшать условия формирования отпечатков. Лучшие чистящие растворы снижают скорость высыхания пасты и обеспечивают улучшенное освобождение её из окон трафарета.

При ручной чистке раствором нужно смочить не дающую пыли ткань и протереть ею трафарет, но не наносить раствор на него. В этом случае чистящий раствор не попадет в пасту, находящуюся на трафарете.

Любые чистящие растворы применяйте умеренно и удаляйте любые их излишки. Многие растворы создают на поверхности трафарета маслянистые остатки, которые могут мешать нанесению паяльной пасты. Растворы могут также смешиваться с пастой и вызывать изменение ее химического состава, что приводит к ускорению высыхания пасты или растеканию отпечатков.

⇒ **СОВЕТ.** Чтобы задать базовое число циклов печати между операциями очистки трафарета, прежде всего проверьте правильность задания начальных установок принтера. Затем, начав с очистки трафарета, приступайте к печати. Перед проверкой качества нанесения пасты сосчитайте число плат, на которые она нанесена. Обычно, когда трафарет загрязняется, края отпечатков становятся "нечеткими" (смазанными). Запомните это число плат, очистите трафарет и, уменьшив число печатаемых плат на 2...5 шт., продолжите печать. Выполнив цикл печати уменьшенного числа плат, снова проверьте качество печати последней платы. Если качество высокое, используйте это число плат в качестве стартового при задании периодичности очистки трафарета.

Хотя изопропиловый спирт обычно хорошо очищает трафарет, он несовместим с большинством флюсов и может существенно сократить время сохранения клейкости пасты, т. к. ускоряет ее высыхание.

То, что не наносит вреда в малом количестве, может нанести вред в большом. Любое инородное вещество (в том числе чистящее средство), попавшее в пасту, загрязняет ее, и может привести к потере повторяемости результатов печати. Надо использовать только чистящие растворы, полностью совместимые с пастой.

#### АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЕЧАТИ

Выше мы рассмотрели причины возникновения и способы преодоления некоторых дефектов печати, таких, как уменьшение порций пасты при избыточном давлении ракеля и выдавливание пасты под трафарет. Ниже мы рассмотрим подобные проблемы подробнее.

**Ключевые слова:** образование перемычек, оборванные отпечатки, высоко поднятая плата, засоре-

**ние трафарета, "собачьи уши"/"пики" пасты.**

Прежде всего выясним, что является причиной **образования перемычек**: неправильная работа принтера или другого оборудования производственной линии (например, автомата для установки компонентов или печи для оплавления припоя). Если после принтера на плате нет дефектов печати, то, возможно, перемычки формирует автомат для установки компонентов. Если в конвекционную печь поступают платы без дефектов, перемычки формируются при пайке из-за эффекта "горячего растекания" порций пасты. Это связанная с пастой проблема иного рода, и рассматривается она в разделе "ГРУППОВАЯ ПАЙКА".

Чаще всего образование перемычек связано с количеством пасты или ее текучестью. Либо на контактные площадки наносится слишком много пасты, либо используемая паста имеет слишком низкую вязкость. В любом из этих случаев при установке компонентов паста может выдвигаться за пределы контактной площадки по обе стороны вывода. Другая возможная причина – большое давление ракеля. Если давление ракеля слишком велико, паста может выдвигаться за пределы окон трафарета, что послужит причиной образования перемычек.

Если Вы определили, что перемычки возникают из-за неправильной работы принтера, и уверены, что плата установлена на надлежащей высоте, то ... снова проверьте зазор между трафаретом и платой при печати. Возможно, кто-то из обслуживающего персонала (тот, кто всегда чем-то недоволен) слегка подрегулировал принтер. Перепроверьте это и переходите к следующему шагу проверки.

Если перемычки формируются всегда в одной зоне с четкими границами, проверьте приспособление для поддержания платы. Такой дефект часто встречается при монтаже нескольких плат в составе одной панели и плат с двухсторонним размещением компонентов. Помните, что паста не настолько разумная, чтобы плохо наноситься в одной облюбованной точке – что-то должно помогать ей в этом!

Обычная проблема при вводе начальных установок – задание зазора печати. Если у Вас получаются **оборванные отпечатки**, следует перепроверить величину этого параметра. Когда Вы вводили величину зазора печати, вы могли не проверить, реализуется ли контактный режим печати.

Когда **плата высоко поднята** и выгибает трафарет вверх так, что имеет с ним контакт только по периметру, по центру трафарет может приподыматься над пла-

той на высоту до 2.5 мм. В этом случае при отделении трафарета от платы порции пасты могут отрываться от контактных площадок.

При нанесении пасты на сильно поднятую панель, в составе которой выполнено несколько печатных плат, может возникнуть ситуация, когда на одной плате формируются качественные отпечатки, а на других формируются отпечатки с перемычками или есть области без отпечатков. Если принтер не отрегулирован надлежащим образом, панель может касаться поддерживающего приспособления только в одних местах и не касаться в других. Если такая ситуация возникает из-за того, что панель деформирована, не пытайтесь исправить ее путем более высокой установки панели – это приведет к более худшим последствиям.

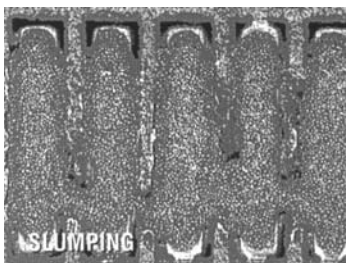
Чтобы корректно задать величину зазора печати и избежать формирования оборванных отпечатков, убедитесь, что плата только слегка касается нижней стороны трафарета. Вы также должны знать ответ на вопросы: очищены ли поддерживающие плату штифты (под ними не должно быть остатков и капель пасты), удерживают ли боковые фиксаторы плату, каждый ли раз плата фиксируется ровно? Если есть ответ "нет" на любой из этих вопросов, то единственное, что Вы сможете сделать с помощью настроенного таким образом принтера – это загрузить работой службу, выполняющую ремонт сборок. Такой результат хорош с точки зрения снижения уровня безработицы, но, вероятно, большинство компаний предпочтет ему высокий процент выхода годных сборок.

Обычно проблема **засорения трафарета** тесно связана с неправильно заданным зазором разделения. Это называется эффектом тампона, в результате которого формируемые порции пасты отрываются от контактных площадок платы и остаются в окнах трафарета.

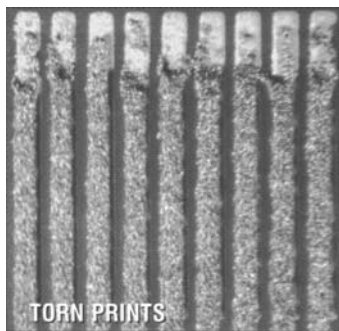
Другая характерная проблема, связанная с неправильно заданным зазором разделения, это формирование **отпечатков в виде "собачьих ушей"** или **отпечатков с острыми пиками пасты**. В таких отпечатках края или углы выступают над уровнем пасты в центре отпечатка. Чтобы устранить эту проблему, необходимо скорректировать величину зазора разделения.

**УСТАНОВКА КОМПОНЕНТОВ**

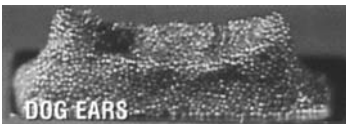
Прежде чем Вы потратите большую сумму денег на покупку высокопроизводительного автомата для установки компонентов, хотим пре-



**Растекание пасты**



**Оборванные отпечатки**



**Отпечаток в виде "собачьих ушей"**



достеречь Вас о том, что при неправильной его настройке могут появиться некоторые характерные дефекты сборки.

**Ключевые слова:** *смещение компонентов или сброшенные компоненты, отскок платы, опора платы, давление при установке, эффект "рекламного щита".*

Специалист, который продаст Вам автомат для установки компонентов, вероятно, расскажет, как быстро может этот автомат устанавливать компоненты. Он даст Вам полную информацию о достоинствах и производительности этого автомата. Единственное, чего он не сообщит Вам, это то, что высокопроизводительные автоматы обычно вызывают много резких движений платы, которые могут привести к **смещению компонентов** и даже **сбрасыванию их с платы**. Причиной этого может быть резкое ускорение/торможение платы и /или отскок платы при резком ударе манипулятора, устанавливающего компонент.

Поскольку величина ускорения платы зависит от скорости работы автомата, единственный способ уменьшить ускорение – снизить скорость работы линии и, естественно, ее производительность.

Наиболее частая причина смещения компонентов – это **отскок платы** при резком ударе. Отскок платы можно минимизировать путем организации надлежащей ее опоры. Используйте в качестве опоры набор штифтов или специальную подставку.

Очень часто считают, что паяльные пасты имеют плохие клеящие свойства. "Ваша паста не удерживает мои компоненты на месте" – обычное обвинение в адрес ее поставщика. Иногда увеличение вязкости пасты может привести к исчезновению этих дефектов, но решите ли Вы этим все проблемы? Нет, и поэтому мы предлагаем Вам ряд советов. Прежде всего, выполните подготовительную работу: проверьте все параметры, заданные в автомате для установки компонентов.

Так же, как и в принтере, в автомате для установки компонентов жизненно важно иметь надлежащую **опору платы**. Такие факторы, как малая толщина или высокая гибкость печатной платы или большое давление на плату при установке компонента вызывают ее прогиб. При быстром подъеме манипулятора прогнутая плата восстанавливает свою форму и подбрасывает компонент или иначе нарушает его установку. Этот эффект чаще всего можно заметить при установке относительно больших компонентов, таких, как танталовые конденсаторы, потому что они имеют большую массу и, соответственно, большую инерцию.

Важно также проверить **давление на плату при установке компонента**. Не нужно вдавливать компонент в пасту. Если кажется, что давление мало, убедитесь,



**Дефект "рекламный щит"**

что компонент имеет надлежащую толщину, и что в автомат для установки введено правильное значение толщины компонента. Если в автомат введена толщина меньше истинной, это приведет сначала к вдавливанию, затем подбрасыванию компонента.

В отличие от эффекта "надгробия", эффект "рекламного щита" возникает из-за неправильной работы автомата для установки компонентов. Обычно эффекту "рекламного щита" подвержены пассивные компоненты – резисторы и конденсаторы. В отличие от эффекта

"надгробия", когда один вывод компонента припаян к контактной площадке, а другой не припаян и ориентирован "в небо", при эффекте "рекламного щита" оба вывода компонента запаяны в плату, но компонент стоит вертикально на боковой стороне.

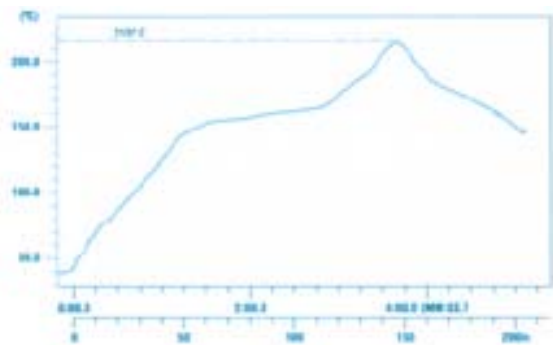
Если возникает эффект "рекламного щита", нужно проверить правильность ввода в автомат координаты точки захвата компонента в питателе, скорость подачи компонентов, тип ленты питателя, отсутствие препятствий на пути перемещения компонента, допуск на положение компонента или перекося ленты питателя.

**ГРУППОВАЯ ПАЙКА** (оловянно-свинцовыми сплавами с содержанием олова 63 или 62 %)

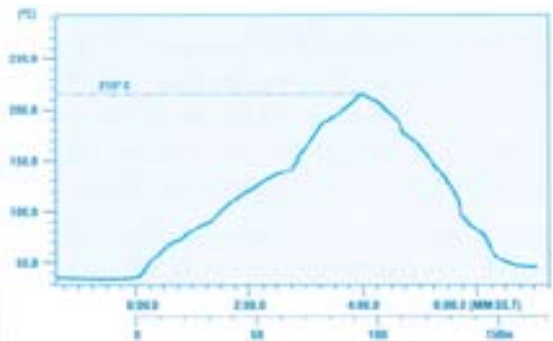
После того, как на плату нанесена паста и установлены компоненты, причем паста не выдавлена из-под выводов компонентов в ту зону, где она формирует перемычки, можно приступить к пайке. Эта операция выполняется в "магическом" туннеле печи для оплавления припоя, в который Вы не можете заглянуть и увидеть, что происходит с платой. В этой точке производственной линии складываются и доставляют массу хлопот все погрешности монтажа.

**Ключевые слова:** *задание температурного профиля пайки, оплавление пасты инфракрасным излучением, конвекционное оплавление пасты, нагрев по линейному закону – выдержка – нагрев до пиковой температуры (Ramp-Soak-Spike – RSS),  $\Delta T$ , линейный нагрев до пиковой температуры (Ramp-to-Spike – RTS).*

Задавать или не задавать температурный профиль? К сожалению, выбора нет. Да, это скучное и нудное дело потребует много времени. Нет лучшего способа узнать, что происходит со сборкой во время оплавления паяльной пасты, чем присоединить к сборке термодатчик и потратить время и деньги на оптимизацию **температурного профиля пайки** (температурный профиль – это графическое отображение температурно-временного режима пайки). Если процесс пайки разработан неправильно или аппаратура не отрабатывает заданный процесс, могут появиться любые дефекты, включая отказы аппаратуры на месте эксплуатации. В общем, лучше всего оплавливать пасту с использованием "быстрых" профилей, которые нагревают ее



Профиль RSS



Профиль RTS

до температуры плавления за 3.5 мин. Однако параметры оптимального профиля будут определяться такими факторами, как функциональные возможности печи, компоновка платы, типы установленных на плате компонентов и др.

Профиль следует отрабатывать с использованием плат, на которые установлены компоненты; в противном случае Вы не сможете измерить истинное поглощение тепла изделием. Более того, профиль следует отрабатывать на том изделии, производство которого Вы пытаетесь оптимизировать. Другими словами профиль, который оптимален для одной сборки, для другой может оказаться неоптимальным. Это означает, что если Вы хотите иметь для всех изделий оптимальный профиль, профиль для каждого изделия должен быть разработан отдельно (особенно, если сборки различаются размерами, плотностью компоновки и типами компонентов).

В связи с тем, что в последнее время были существенно модифицированы и улучшены используемые в промышленности печи, изменились требования к профилям пайки и их параметрам. В старых печах (с инфракрасным нагревом) для того, чтобы достичь оптимальных результатов пайки, часто требовался профиль типа RSS (нагрев по линейному закону – выдержка – нагрев до пиковой температуры). И наоборот, современные более производительные печи с конвекционным нагревом обеспечивают такое же или более высокое качество пайки при использовании профиля типа RTS (линейный нагрев до пиковой температуры).

Зона выдержки профиля RSS обеспечивает приведение сборки в тепловое равновесие перед нагревом до температуры плавления припоя. Так как  $\Delta T$  (наибольшая разность температур в пределах сборки) и проблемы, связанные с ней, редко встречаются при пайке в современных печах, зона выдержки может оказаться ненужной. Принимая решение о том, нужна зона выдержки или нет, следует учитывать плотность установки компонентов и их теплоемкость. Если зона выдержки не нужна, профиль можно превратить в линейный (RTS).

Ранее профиль RSS часто ассоциировался с флюсом RMA и флюсами, не требующими отмывки остатков после пайки, т. к. во времена разработки этих флюсов функциональные возможности печей не позволяли отработать иной профиль. Профиль RSS обычно не используется при пайке смываемыми водой флюсами, поскольку длительное время выдержки, характерное для этого профиля, может вызвать преждевременное разрушение активатора.

Профиль RSS начинается с нагрева сборки с регулируемой скоростью до температуры примерно 150 °C за время 90 с. Скорость нагрева не должна превышать 2-3 °C/с для того, чтобы предотвратить разбрызгивание припоя и не подвергать компоненты термоудару. Затем сборка выдерживается в течение 90 с при температуре от 150 до 170 °C. В зоне выдержки не рекомендуется устанавливать температуру свыше 170 °C, поскольку во многих пастах активатор при перегреве быстро разрушается.

После выдержки сборка подвергается нагреву до пиковой температуры, где припой будет оплавлен при температуре свыше 183 °C за время 60±15 с. Плановое время пребывания сборки при температуре выше точки плавления припоя (183 °C для сплава Sn63Pb37) составляет 60 секунд, этого времени достаточно для формирования прочного, без пустот паяного соединения. Длительность отработки профиля от 45 °C до пиковой температуры 215±5 °C должна быть в диапазоне от 3.5 до 4 минут.

Скорость охлаждения сборки не должна превышать 4 °C в секунду для того, чтобы термоудар не повредил компоненты. Кроме того, чем ниже скорость охлаждения, тем меньше размеры кристаллов припоя в паяном соединении и выше его механическая прочность.

Профиль с линейным нагревом до пиковой температуры (RTS) может использоваться с любым сплавом или припоем (включая припой, не содержащие свинца) и является предпочтительным для пайки с использованием паст на основе растворимых водой флюсов. Профиль RTS не следует использовать в случае, если по каким-либо причинам в пределах сборки наблюдается большая разность температур (что имеет место, когда используется крепежная оснастка) или если используемое оборудование не позволяет достичь тре-

буквой скорости нагрева и пиковой температуры.

Профиль RTS имеет ряд преимуществ по сравнению с профилем RSS. В связи с тем, что скорость нагрева в профиле RTS намного меньше ( $0.7 - 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$  в секунду), меньше угроза возникновения дефектов платы и компонентов, связанных с термоударом. Более того, использование профиля RTS часто может приводить к формированию более качественных паяных соединений и уменьшению проблем, связанных с применением трудно паяемых сплавов, т. к. паяльные пасты, оплаваемые с использованием этого профиля, будут сохранять растворитель (связующее вещество) во время всей стадии предварительного нагрева. Поэтому профиль RTS следует использовать для пайки сплавов, которые плохо смачиваются припоем.

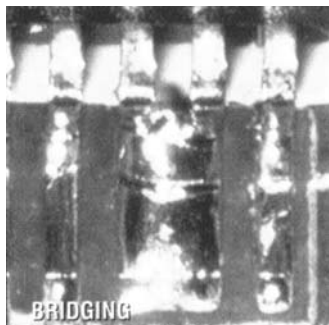
Как было показано выше, профиль RTS обеспечивает плавный нагрев сборки от комнатной температуры до пиковой. Задать такой профиль нагрева в конвекционной печи совсем просто. В зонах предварительного нагрева осуществляется линейный нагрев сборки, благодаря чему предотвращается термоудар, флюс активируется, легколетучие фракции флюса испаряются, и сборка подготавливается к плавлению припоя. Типовое значение скорости нагрева для профиля RTS составляет  $0.7 - 1.8 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  в течение всего этапа нагрева, который длится от 90 до 120 секунд.

Как и в случае профиля RSS, длительность отработки профиля RTS от температуры окружающей среды до пиковой температуры  $215 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  не должна превышать 3.5...4 минуты. Пиковая температура должна составлять  $215 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , время пребывания выше температуры плавления –  $60 \pm 15$  секунд, а скорость охлаждения не должна превышать  $4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ .

⇒ **СОВЕТ.** При использовании в качестве припоя многих не содержащих свинца сплавов необходимо обеспечивать нагрев до более высоких температур. Для сплавов семейства Sn/Ag/Cu пиковая температура около  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ . Чтобы достичь такой температуры, не следует увеличивать продолжительность нагрева, предпочтительнее несколько увеличить его скорость. Более подробную информацию можно получить в сети Интернет по адресу: [www.leadfree.com](http://www.leadfree.com)

#### АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПАЙКИ

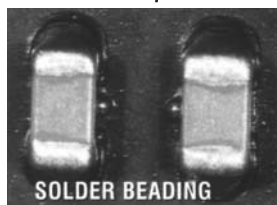
Итак, Вы задали оптимальный профиль пайки и уверены, что на выходе печи появится идеально паяная



Перемычка



Комки припоя



"Бисер" из припоя

плата. А если дефекты все же появятся?

**Ключевые слова:** образование перемычек, горячее растекание отпечатков, комки припоя, образование "бисера", эффект "надгробия", растрескивание.

Перемычки, которых не было на плате при загрузке в печь, могут возникнуть на выходе из печи из-за эффекта горячего растекания пасты. Обычно растекание связано со свойствами пасты, но иногда (особенно в случае использования паст, остатки которых не требуют отмычки после пайки, и некоторых паст на основе канифоли) растекание можно предотвратить выбором соответствующего температурного профиля. Проблему можно решить путем увеличения скорости нагрева до  $2.5 - 3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  до температуры выдержки  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Однако помните, что чем дольше выдерживается сборка при этой температуре, тем меньше будет активность пасты при достижении точки плавления припоя. Особенно тщательно нужно контролировать время выдержки в случае использования смываемых водой паяльных паст: чем дольше они находятся в зоне выдержки, тем ниже активность флюса (активность сохраняется до тех пор, пока не испарятся

галогениды).

Другой характерный дефект пайки в конвекционной печи – комки припоя. Хотя иногда они появляются в случае использования окисленных паст или паст, которые нанесены на платы задолго до оплавления, чаще причиной появления комков припоя является выбор неоптимального температурного профиля. Обычно комки появляются, когда скорость нагрева слишком низкая или слишком высокая. Быстрый нагрев сборки не позволяет летучим фракциям пасты испариться перед плавлением припоя. Комбинация летучих фракций и расплавленного припоя приводит к разбрызгиванию его и формированию комков.

Образование "бисера" также может быть вызвано выбором неоптимального профиля, но обычно это связано с неправильным выбором объема порций пасты или ее вязкости. Для уменьшения вероятности возникновения бисера рекомендуется в трафарете для нанесения пасты выполнять окна меньшего размера, чем контактные площадки. Один из общепринятых способов уменьшения размеров отпечатков и предотвращения их смещения с контактных площадок (что является причиной образования комков, превращающихся после оплавления в мелкие шарики или "бисер") – формирование окон в виде домика. Помните, что важно не только уменьшить размер порций пасты, но и точно нанести их на контактные площадки.

Еще один часто встречающийся дефект – это фор-

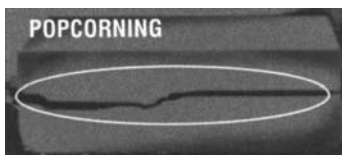
мирование "надгробий", что обычно связано с отсутствием смачивания одной из контактных площадок. Этот дефект особенно часто встречался при пайке в паровой фазе, когда на одной из контактных площадок жидкость конденсировалась раньше, чем на другой, и сила поверхностного натяжения расплавленного припоя поднимала компонент в вертикальное положение. При использовании современной технологии к формированию "надгробий" может привести большой перепад температуры в пределах платы или плохое смачивание припоем контактной площадки или вывода компонента.

Способ устранения "эффекта надгробия" – более медленное плавление припоя. Плавление происходит на том участке профиля, где производится разогрев до пиковой температуры. Если используется сплав Sn63Pb37, переход из жидкой в твердую фазу и наоборот происходит в точке плавления 183 °С. Вблизи этой точки разность температур в пределах платы должна быть минимальной.

Нужно также помнить, что чем больше на плате варьируется плотность расположения компонентов из-за наличия больших заземленных площадок, тем более вероятно возникновение подобных дефектов и более тщательно нужно выравнять температуру в пределах платы при достижении точки плавления. Кроме того, на частоту проявления "надгробий" оказывает влияние качество нанесения пасты: чем толще слой пасты, тем большего числа "надгробий" следует ожидать.

Другой фактор, который влияет на возникновение "надгробий", – это смещение компонента и/или порций пасты. Для минимизации числа "надгробий" необходимо точно наносить порции пасты и устанавливать компоненты.

**Растрескивание** – это раскалывание микросхем на несколько частей при пайке. Растрескивание связано с большой скоростью нагрева при преодолении точки кипения воды (100 °С) и часто определяется качеством и условиями хранения компонентов. Есть простое правило: чем больше влаги поглотил компонент, тем ниже должна быть скорость его нагрева вблизи температуры 100 °С. Чтобы уменьшить частоту возникновения дефекта, нужно улучшить условия хранения компонентов и высушивать их перед пайкой.



Растрескивание



Отпечатки в виде "домика"



Дефект "надгробие"

## ПАЙКА ВОЛНОЙ ПРИПОЯ

Итак, Вы стали специалистом в установке компонентов на поверхность платы и готовы приступить к пайке волной припоя. Теперь мы рассмотрим некоторые дефекты, характерные для этого способа пайки.

**Ключевые слова:** нанесение флюса, нанесение флюса из пены, нанесение флюса способом распыления, предварительный нагрев, скорость конвейера, температура ванны, загрязнение ванны, фосфор, охрупчивание.

При нанесении флюса нужно точно дозировать его количество. Если флюс наносится из пены, для удаления его избытка используются воздушные ножи. Однако более предпочтительно наносить флюс способом распыления. Таким способом наносят не требующий отмытки флюс или флюс, поставляемый в аэрозольных баллонах. Количество флюса, наносимого способом распыления, значительно лучше контролируется, чем при нанесении из пены, и обеспечивается более высокая повторяемость результата.

Температура предварительного нагрева при пайке волной должна быть не очень высокой и не очень низкой. Основные цели предварительного нагрева – испарение растворителя, минимизация термоудара и активация флюса. Только не перегрейте плату, поскольку в противном случае флюс потеряет активность. Если Вы увидите слишком много дыма и услышите шипение, треск, щелчки, уменьшите температуру нагрева.

**Скорость конвейера** может меняться в зависимости от типа сборки, но обычно лежит в пределах от 3 до 5 футов в минуту (91.5...152.5 см/мин). Типовая длительность процесса пайки волной составляет 1.5...2.5 мин.

Типовая температура ванны для припоя Sn63/Pb37 составляет 232...260 °С. Типовая температура ванны для припоя CASTIN (запатентованного фирмой AIM сплава, не содержащего свинца) составляет 254...268 °С.

Основные загрязняющие вещества в паяльной ванне: медь, золото и никель. Если их концентрация превышает допустимый уровень, паяные соединения приобретают зернистую структуру.

Производители припоев иногда используют фосфор для того, чтобы создать иллюзию уменьшенного образования шлака. Однако фосфор может вызвать засорение насоса, создать наросты на отражателе волны и (если концентрация его слишком высока) вызвать охрупчивание паяных соединений. Охрупчивание может также быть следствием загрязнения припоя медью, золотом, никелем, железом, алюминием и цинком.

### АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПАЙКЕ ВОЛНОЙ

Конечно, лучше всего попытаться выполнить процесс пайки, избежав возникновения дефектов, однако...

**Ключевые слова:** *перемычки, шарики припоя, паутина, микроскопические шарики, выдувание припоя из отверстий, непропаянные выводы.*

Если Вы используете флюс с малым количеством остатков, которые можно не отмывать после пайки, существует шанс, что Вы увидите все перечисленные выше дефекты. Всегда помните, что Вы работаете с технологией, которая была разработана для флюсов с большим количеством остатков после пайки. Закономерность такова, что чем выше содержание твердых веществ во флюсе, тем меньше будет число дефектов. Твердые вещества флюса улучшают теплопроводность, способствуют уменьшению налипания припоя на неметаллические материалы, снижают количество паразитных перемычек и способствуют формированию качественных паяных соединений. С другой стороны, флюсы с большим содержанием твердых веществ дают более толстый слой остатков, которые часто необходимо отмывать после пайки. Многие компании предпочитают использовать не требующие отмытки флюсы, дающие после пайки малое количество остатков, несмотря на то, что они дают большее количество дефектов и требуют более точного контроля параметров технологического процесса.

Число **перемычек** определяется плотностью расположения выводов компонентов, монтируемых в отверстия. Чтобы избежать образования перемычек при высокой плотности расположения выводов, нужно укоротить выводы до минимальной длины, допускаемой техническими условиями. Кроме укорачивания выводов, следует увеличить расстояние между ними путем уменьшения ширины проводящего кольца вокруг отверстия либо за счет уменьшения ширины слоя меди, либо путем выбора соответствующей геометрии паяльной маски. Удерживая содержание твердой составляющей флюса на максимально возможном уровне путем тщательного выбора температуры предварительного нагре-

ва, можно избежать образования перемычек. Использование азотного "покрывала" над волной помогает уменьшить число паразитных перемычек.

**Микроскопические шарики** на поверхности печатной платы показывают, что жидкие фракции флюса не испарились до входа сборки в волну. Обычно такие шарики появляются, когда операторы впервые работают с флюсом, поставляемым в аэрозольных баллонах. Эти крошечные шарики припоя выдуваются на поверхность платы из сквозных неметаллизированных или металлизированных отверстий при кипении флюса. Микроскопические шарики индицируют, что нужно увеличить время или температуру предварительного нагрева платы для того, чтобы растворитель, входящий в состав флюса, успел полностью испариться.

Шарики припоя на нижней стороне платы могут быть связаны с содержанием твердых фракций флюса. Повышение содержания твердых фракций поможет устранить такие шарики. Однако на нижней поверхности платы шарики припоя чаще возникают из-за паяльной маски. Припой к ней прилипает либо из-за того, что паяльная маска размягчается, либо из-за высокой гладкости ее поверхности. Чтобы устранить шарики, проверьте материал маски или сделайте печатную плату более холодной путем снижения температуры предварительного нагрева и/или температуры ванны с припоем.

**Паутина** выглядит так, как будто к нижней стороне платы прилипла паутина или сетка из припоя. Паутина появляется тогда, когда температура или длительность предварительного нагрева слишком велика, или на плату нанесено мало флюса. На то, что может появиться паутина, указывает малое количество дыма, возникающего при прохождении платы через волну. Чтобы избавиться от паутины, нанесите на платы больше флюса или уменьшите температуру предварительного нагрева.

**Раковины в залитом припоем отверстиях** (отверстия с выдутым припоем) обычно появляются в результате проблем с печатной платой. Основным симптом такого дефекта – наличие с одной из сторон залитого припоем металлизированного отверстия тонкого "прокола" (отверстия малого диаметра в припое). Обычно причина появления этого дефекта – наличие пустот в метал-



Перемычка



Дефект "паутина"



Раковина в залитом припоем отверстия



Шарики припоя

лизированном отверстии, из которых при кипении флюса выделяется газ, вытесняющий припой. Этот дефект пайки является следствием дефекта печатной платы, и ее изготовителю нужно выставить претензии.

**Непропаянные выводы** обычно остаются с обратной (по отношению к направлению движения платы) стороны компонента. Такие соединения возникают из-за недостатка твердой фракции во флюсе, неправильного угла наклона транспортера в зоне контакта с волной припоя или неправильной конфигурации контактной площадки. Попробуйте увеличить количество наносимого на плату флюса, измените угол наклона транспортера или угол атаки. При оптимальном выборе указанных параметров захваченные газы смогут выйти с пути протекания расплавленного припоя, и он попадет на контактную площадку. Повышенная активность флюса также может помочь в борьбе с этим дефектом – высокоактивный флюс обеспечивает ускоренное смачивание контактных площадок.

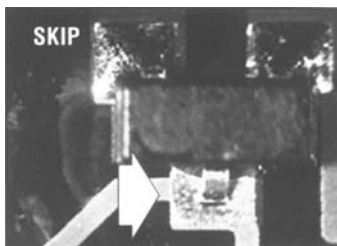
#### РУЧНАЯ ПАЙКА

Это та операция, которой многие технологи не уделяют внимания до тех пор, пока не возникают неисправности по месту эксплуатации. Затем они открывают, что один из операторов производственной линии имеет склад трубчатого припоя с высокоактивным флюсом, который хранится под столом для монтажа труднопаяемых компонентов. Это завершающая операция монтажа плат, которой часто не уделяют должного внимания.

**Ключевые слова:** *трубчатый припой с не требующим отмывки флюсом, самый безопасный метод ручной пайки, повторная пайка для исправления дефектов паяных соединений.*

При использовании **трубчатого припоя с не требующим отмывки флюсом** работать следует в перчатках, т. к. даже один отпечаток пальца на плате может стать причиной электромиграции, что приведет к снижению величины поверхностного электрического сопротивления. Если для выполнения ремонтных работ используется флюс, нужно иметь точное описание его свойств, т. к. нет метода ручной пайки, обеспечивающего однородный нагрев, при котором не разрушаются кислоты, придающие флюсу активность. Именно поэтому небезопасно после пайки оставлять на плате остатки флюса, даже если флюс успешно прошел тестирование на электромиграцию или величину поверхностного сопротивления. Если хотите не смывать остатки флюса и избежать брака, повторите тестирование при реализованных в Вашем производстве условиях пайки.

**Самый безопасный метод ручной пайки** состоит в том, чтобы, когда возможно, не использовать иной флюс кроме того, который содержится в припое. Оператор должен иметь навыки пайки таким припоем.



Непропаянный вывод

Сначала оператор должен нагреть вывод компонента и контактную площадку, затем прижать к ним трубчатый припой с флюсом.

Попытайтесь избежать **повторной пайки для исправления дефектов паяных соединений**. Повторно паяные соединения обычно имеют меньшую надежность из-за воздействия дополнительного термоудара и возрастания содержания интерметаллических соединений в припое. В целом, если паяное соединение имеет хороший внешний вид и образует галтель, его качество с большой вероятностью высокое. Другими словами, если нет явного брака, не производите повторную пайку.

#### ТЕСТИРОВАНИЕ

Теперь, когда Вы закончили сборку платы и уверены, что все паяные соединения имеют высокое качество, а компоненты установлены на свои места, пришло время пессимистически настроенным специалистам по контролю качества попробовать показать, как Вы заблуждаетесь.

**Ключевые слова:** *тестирование игольчатыми зондами, пригодная для тестирования игольчатыми зондами паяльная паста.*

**Тестирование игольчатыми зондами** платы с остатками флюса после пайки часто представляет труднорешаемую проблему. Поэтому попытайтесь избежать такого тестирования. Однако в ряде случаев тестирования избежать нельзя. Если в устройстве есть ряд контактных площадок для тестирования, сделайте проводники, подходящие к этим площадкам, по возможности длиннее. В этом случае больше флюса стечет с контактной площадки на плату. Если проводники имеют малую длину, они будут покрыты флюсом, что затруднит тестирование платы зондами.

Если плата тестируется сразу же после пайки в печи, то результаты будут сильно отличаться от результатов тестирования, полученных через сутки после пайки. Чем выше температура остатков флюса после пайки, тем они мягче и более липкие. Часто нельзя принять однозначное решение, когда проводить тестирование, поскольку приходится иметь дело как с платами, только что сошедшими с конвейера, так и с платами, подвергшимися ремонту.

Использование **пригодной для тестирования игольчатыми зондами паяльной пасты** упрощает процесс тестирования. Такая паста создает на плате после пайки воскоподобное покрытие, которое не липнет и не тянется, легко прокалывается наконечником зонда, не крошится и не засоряет наконечник. Этими свойствами остатки пасты обладают как сразу после пайки, так и месяц спустя.

*Дополнительную информацию о припоях, флюсах, паяльной пасте фирмы AIM и рекомендации по применению их можно найти на web-сайте: [www.aimsolder.com](http://www.aimsolder.com)*

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АНАЛОГОВОГО ВИДЕОСИГНАЛА В СИГНАЛЫ ЦИФРОВОГО ИНТЕРФЕЙСА ЖК-ПАНЕЛЕЙ

В статье приведено краткое описание преобразователя аналогового RGB-видеосигнала в стандарте VSIS в сигналы цифрового восьмиразрядного интерфейса полноцветных жидкокристаллических панелей.

**А. Веденюк**

В настоящее время стандарт VSIS (Video Signal Standard) на аналоговый интерфейс видеомониторов, выпущенный ассоциацией VESA (Video Electronic Standards Association), является единственным промышленным стандартом, который принят всеми производителями графических карт и мониторов. В то же время в области цифровых интерфейсов для плоских ЖК-панелей наблюдается большое разнообразие стандартов (DFP, DVI, TMDS, LVDS, GVIF и др.). Большинство фирм, выпускающих такие панели, имеет готовые решения для стыковки их с аналоговым интерфейсом, однако эти решения зачастую по многим параметрам не отвечают потребностям производителей мониторов. Поэтому возникла необходимость в разработке преобразователей RGB-видеосигнала в цифровой код, используемый в ЖК-панелях.

Временная диаграмма сигналов типового цифрового интерфейса для полноцветных ЖК-панелей приведена на рис. 1. Из диаграммы видно, что кроме сигналов, которые имеются в аналоговом интерфейсе (строчной развертки  $H_s$ , вертикальной развертки  $V_s$  и оцифрованных видеосигналов RGB), в цифровом интерфейсе есть также сигналы CLK тактовой частоты выдачи оцифрованных видеосигналов RGB и сигнал DE разрешения приема данных. Сигналы CLK и DE должны формироваться схемой преобразователя интерфейсов, причём все сигналы цифрового интерфейса должны быть синхронны с тактовым сигналом CLK. Данный параллельный цифровой интерфейс является исходным для последовательных цифровых интерфейсов (DVI, TMDS).

Фирма Analog Devices выпускает ряд микросхем преобразователей аналогового видеоинтерфейса в цифровой параллельный восьмиразрядный интерфейс. Это микросхемы AD9884A, AD9886, AD9887, AD9888, которые отличаются дополнительными функциями, в то время как блок аналогово-цифрового преобразователя остается без изменений. Функциональная схема AD9884A приведена на рис. 2.

Как видно из функциональной схемы, блок аналогово-цифрового преобразователя не формирует сигнал DE. Его можно сформировать с помощью внешнего цифрового автомата, который может быть реализован на одной микросхеме ПЛИС. Ассоциация VESA определяет стандартные значения временных параметров для аналогового сигнала RGB, однако они являются рекомендательными и могут меняться в незна-

чительных пределах в видеокартах разных производителей.

Сдвиг сигнала DE относительно входных сигналов RGB (в зависимости от его величины) приведет к частичному либо полному пропаданию изображения, либо к нарушению его центрирования. Поэтому цифровой автомат должен синхронизировать сигнал DE с входными сигналами видеоданных. Для этой цели может быть использован имеющийся в блоке аналогово-цифрового преобразователя компаратор по уровню 0.15 В (Sync On Green Slicer – SOGIN). На вход SOGIN необходимо подать один из входных аналоговых сигналов RGB (обычно это G) и при его уровне  $\geq 0.15$  В на выходе SOGOUT будет сформирован уровень логической единицы.

ОП "Матс-Спецтех" (г. Львов) на базе микросхемы AD9884A разработан преобразователь аналогового RGB-видеосигнала в сигналы цифрового восьмиразрядного интерфейса ЖК-панелей. Цифровой автомат формирователя сигнала DE реализован на ПЛИС EPM3032ALC44-10 фирмы Altera. На основе этого

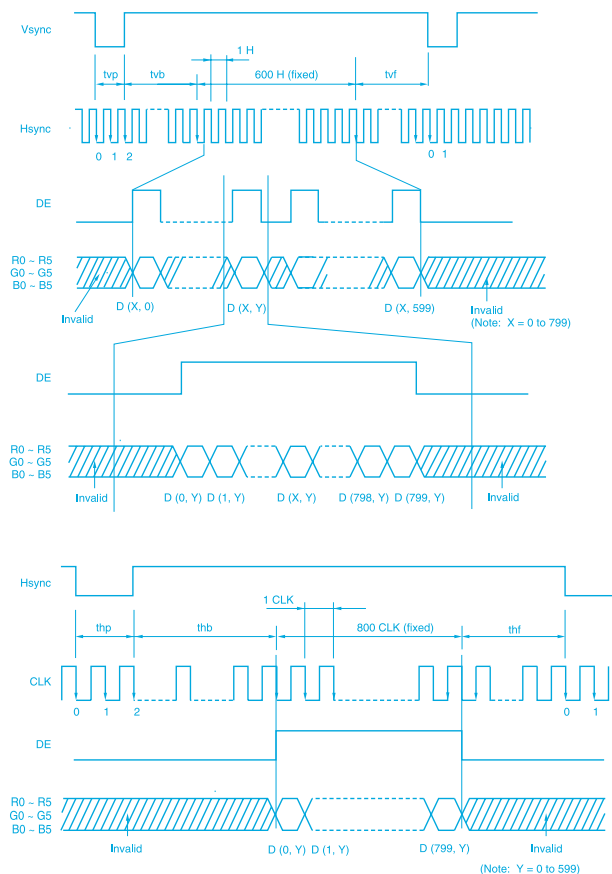


Рис. 1. Временная диаграмма сигналов цифрового интерфейса

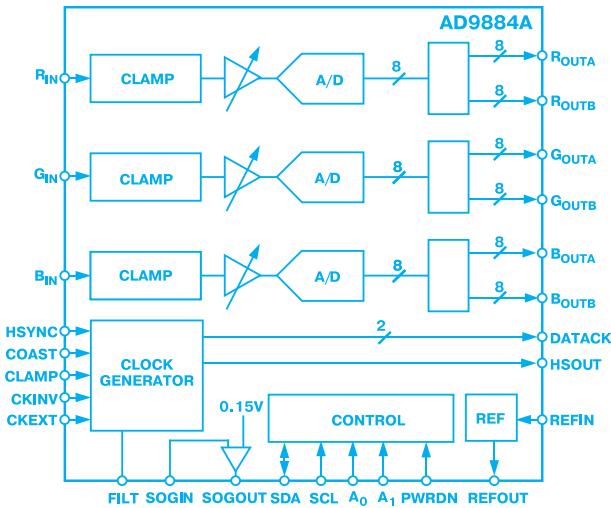


Рис. 2. Функциональная схема AD9884A

преобразователя выпущена серия промышленных полноцветных мониторов SVGA с длиной диагонали 8.4 дюйма, разрешением 800x600 пикселей и частотой обновления изображения 60 Гц. В мониторах применены ЖК-панели LQ084S1DH01 фирмы Sharp и

UB084S01 фирмы DATA DISPLAY. Для преобразования параллельного цифрового интерфейса в последовательный низкоуровневый LVDS использован комплект преобразователей от ЖК-панелей PK898A фирмы AXIOM.

Подробную информацию о преобразователях интерфейсов можно получить по адресу: 79008, г. Львов, ул. Винниченко, 30, ОП "Матс-Спецтех". Телефон: (0322) 79-77-30, факс: (0322) 97-13-11. E-mail: [aved@mats.lviv.ua](mailto:aved@mats.lviv.ua)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Самарин А. Обзор современных цифровых дисплейных интерфейсов для плоских экранов // Компоненты и технологии, 2001, № 6.
2. Data Sheet: 100 MSPS/140 MSPS Analog Flat Panel Interface AD9884A. – Analog Devices, Inc., 2000, Rev. B.
3. Data Sheet: Analog Flat Panel Interface AD9886. – Analog Devices, Inc., 2001, Rev. 0.
4. Data Sheet: Dual Interface for Flat Panel Displays AD9887. – Analog Devices, Inc., 2001, Rev.0.
5. Data Sheet: 100 /140/170/205 MSPS Analog Flat Panel Interface AD9888. – Analog Devices, Inc., 2002, Rev. A.

## DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ \*

В 2001 году фирма Astec Power (отделение Emerson Network Power), известная в мире как производитель AC/DC и DC/DC преобразователей, представила новые модели DC/DC преобразователей типа AK45C/AV45C и AA60A.

**AK45C/AV45C.** Преобразователи типа AK45C/AV45C с выходной мощностью до 100 Вт имеют одно выходное напряжение (1.8, 2.5, 3.3 или 5.0 В), входное напряжение 48 В постоянного тока, диапазон рабочих температур от -40 до 100 °С, обеспечивают высокую стабильность выходных характеристик во всем диапазоне тока нагрузки, что делает их идеальными для применения в устройствах телекоммуникаций, таких как измерительное и испытательное оборудование, а также во многих других. Высокая надежность (наработка до отказа 1 млн ч при температуре корпуса 50 °С) позволяет использовать эти преобразователи в оборудовании, предназначенном для жестких условий эксплуатации.



Преобразователь AK45C



Преобразователь AA60A

Широкий диапазон входного напряжения (от 36 до 75 В) позволяет применять преобразователи AK45C/AV45C в устройствах, для которых необходимо обеспечивать высокую емкость нагрузки и низкое выходное сопротивление. Кроме высоких выходных характеристик, защиты от превышения выходного напряжения и перегрева, преобразователи обеспечивают соответствие промышленным стандартам ETSI и WEBS, а также стандарту для телекоммуникационной аппаратуры EN41003 по допустимому испытательному напряжению изоляции 1500 В и при наличии внешних фильтров – требованиям стандартов FCC, класс В и EN55022 по электромагнитной совместимости. Типичное применение включает беспроводные передатчики и приемники, беспроводные базовые станции, измерительное оборудование и устройства сетей Интернет, такие как концентраторы, маршрутизаторы и АТМ.

\* По материалам пресс-релиза Astec Power.



Таблица 1. Основные технические характеристики DC/DC преобразователей типа АК45С-20/АВ45С-20 и АА60А

Параметр	АК45С-20 АВ45С-20	АА60А
Выходная мощность, Вт	100	75
Диапазон входных напряжений, В	36-75	36-75
Выходное напряжение, В	1.5, 1.8, 2.5, 3.3, 5.0	5.0 и 3.3, 2.5 и 3.3
Частота преобразования, кГц	375	400
Отклонение выходного напряжения при изменении тока нагрузки, %	0.2 (0-100 %)	±0.5 (10-100 %)
Допуск на отклонение от ном. напряжения, %	1.0	±1.0
ТКН, %/°С		0.02, макс
Уровень шумов/пульсаций, мВ	100 макс	100, макс (р-р)
Защита от перенапряжения, %	130 (5 В) 140 (3.3 В) 160 (1.8, 2.5 В)	
Защита от перегрузки по току, %	115	от КЗ
Защита от перегрева	+	+
Дистанционное включение/выключение	TTL ("1" или "0")	TTL, "1"/"0"
Дистанционный датчик вых. напряжения	+	
КПД, %	до 89	82, тип
Диапазон рабочих температур, °С	-40...100	-40...100
Наработка до отказа, млн ч	1	
Габариты, мм	58×37×13	58×61×13
Электромагнитная совместимость	<b>UL</b> (UL1950, CSA 22/2-950)	<b>UL</b> (UL1950, CAN 22/2-950) <b>TUV</b> (EN60950)

Соответствие по выводам принятому стандарту, размеры 58×37×13 мм, высокий КПД и выходной ток до 20 А также являются важными факторами, обеспечивающими преимущества преобразователей АК45С/АВ45С перед их аналогами. Еще одной важной характеристикой этих преобразователей является совместимость с промышленными стандартами по шагу выводов, что обеспечивает их применение как в старых, так и новых проектах.

При выходной мощности до 100 Вт АК45С/АВ45С имеют КПД до 90 %, низкие уровни выходных пульсаций и шума, дистанционный

датчик, дистанционное включение TTL-уровнем ("1" или "0"), сертифицированы в соответствии со стандартами UL, CSA и UD, что обеспечивает широкий спектр применения этих DC/DC преобразователей.

Эти качества позволяют использовать модули АК45С/АВ45С как в электронике, так и в телекоммуникациях, промышленной автоматике, системах управления и контроля, нагрева, вентиляции и кондиционирования.

**АА60А.** Сдвоенные DC/DC преобразователи серии АА60А разработаны для применения в системах телекоммуникационного и сетевого оборудования, рассчитанных на ши-

Таблица 2. Выходные параметры DC/DC преобразователей АК45С/АВ45С и АА60А

Входное напряжение, В	Выходные напряжение/ток, В/А		КПД, %, тип.	Модель
	Выход 1	Выход 2		
<b>АК45С / АВ45С</b>				
36-75	1.5/20	-	84	AV45C-048L-015F20HA
36-75	1.8/20	-	84	AK45C-048L-018F20HA
36-75	2.5/20	-	86	AK45C-048L-025F20HA
36-75	3.3/20	-	88	AK45C-048L-033F20HA
36-75	5.0/20	-	89	AV45C-048L-050F20HA
<b>АА60А</b>				
36-75	3.3/19	2.5/19	82	AA60A-048L-033D025
36-75	5.0/15	3.3/15	82	AA60A-048L-050D033

рокий диапазон рабочих температур. Они обеспечивают выходные напряжения 2.5, 3.3 и 5.0 В с суммарной выходной мощностью 75 Вт.

Важной характеристикой этих преобразователей является наличие двух независимых стабилизированных выходов с напряжением 2.5 и 3.3 В или 3.3 и 5.0 В. Обеспечивается любое распределение нагрузки между обоими источниками напряжения при условии, что выходная мощность не превышает 75 Вт.

Номинальное входное напряжение 48 В при диапазоне изменения входного напряжения в пределах от 36 до 75 В делают модуль идеальным для применения в устройствах телекоммуникаций и сети Интернет, таких как концентраторы, маршрутизаторы и АТМ оборудование.

Изоляция выхода выдерживает 1500 В, обеспечивается соответствие требованиям стандартов ETSI для телекоммуникаций, стабильность не хуже 0.2 % и низкий уровень выходного шума.

Максимальные выходные токи – 15 А для напряжений 5 и 3.3 В или 19 А для напряжений 3.3 и 2.5 В. Имеется защита от КЗ и перенапряжения на выходе.

Диапазон рабочих температур от -40 до 105 °С без дополнительного теплоотвода. Модули производятся на полностью автоматизированной линии, включая процессы тестирования, что обеспечивает высокий уровень качества и надежности этих преобразователей.

Модули размещены в негерметизированном корпусе размерами 58×61×13 мм с шагом выводов, соответствующим принятым стандартам.

По электромагнитной совместимости DC/DC преобразователи серии АА60А соответствуют требованиям стандартов UL1950, EN60950, CSA22.2-950.

Основные технические характеристики и параметры DC/DC преобразователей типа АК45С-20/АВ45С-20 и АА60А приведены в таблицах 1, 2.

Дополнительную информацию о DC/DC преобразователях фирмы Astec Power можно получить в сети Интернет по адресу: [www.emersonnetworkpower.com](http://www.emersonnetworkpower.com)

## СОВРЕМЕННЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*С начала 90-х годов стоимость электроэнергии стала неуклонно возрастать. Возрастала и доля электроэнергии в себестоимости практически любой выпускаемой продукции и общем балансе расходов на коммунальные услуги для населения. Осуществить эффективное управление электропотреблением невозможно без внедрения расчетов по дифференцированным тарифам, которые подразумевают использование разных тарифных ставок за потребленную электроэнергию в зависимости от времени суток. Это должно стимулировать снижение потребления в часы максимальных нагрузок на энергосистему и его увеличение во время действия льготных тарифов. Все это невозможно реализовать без современных электронных счетчиков электроэнергии.*

### **В. Макаренко**

Руководитель любого предприятия обязательно подтвердит, что сбережение электроэнергии – это нужное и полезное дело. Однако часто на внедрение энергосберегающих технологий не хватает средств. Как заработать деньги на внедрение энергосберегающих технологий? Как снизить расходы на электроэнергию? Как известно, энергосбережение начинается с учета. Учета, в первую очередь, расходов электроэнергии, тепла, воды и газа. Грамотно поставленный учет позволяет управлять своими энергоресурсами и оптимально их перераспределять. А это, в свою очередь, приносит средства и на внедрение всего спектра энергосберегающих технологий в производстве, таких как компенсация реактивной мощности, использование вторичных энергоресурсов, модернизация или приобретение нового технологического оборудования, регулирование режимов работы предприятия и т. д.

В быту расход электроэнергии возрастает в связи с тем, что количество бытовой техники, находящейся в пользовании у населения, постоянно увеличивается. Растет и доля оплаты за электроэнергию в общих расходах за коммунальные услуги. Один из путей для снижения затрат на электроэнергию в бытовых условиях – использование

современных счетчиков электроэнергии, отличительной особенностью которых является возможность учета электроэнергии по тарифам. Это означает, что потребителю предоставляется возможность рассчитываться за потребленную электроэнергию по-разному. В настоящее время действуют три тарифа расчета за электроэнергию: пиковый (обычно это утренние и вечерние часы), полупиковый (это, практически, весь день, кроме утра и вечера) и ночной (с 23 до 7 часов). Цена за потребленную электроэнергию меняется в зависимости от тарифа. При расчетах по тарифам потребителю нужно будет умножить цену 1 кВт·ч на следующие коэффициенты: по пиковому тарифу – 1.8, полупиковому – 1.02, ночному тарифу – 0.2.

Одной из главных причин введения дифференцированных тарифов является стремление к выравниванию графика нагрузки в энергосистемах, что позволяет откладывать ввод новых генерирующих мощностей, благодаря уменьшению потребления электроэнергии в часы максимума. Для этого необходимо, чтобы потребители электроэнергии изменили графики электропотребления собственного производства, т. е. перевели энергоемкие производства из часовых зон максимального потребления электроэнергии в зоны среднего и минимального потребления, что возможно только

в случае, если потребителю это экономически выгодно. Введением разных тарифных ставок в зависимости от времени суток достигается экономический эффект как у потребителей, так и у производителей электроэнергии. Потребитель для наибольшей экономии средств получает возможность маневрировать своим энергопотреблением, изменяя технологический цикл.

Очевидно, что выгоднее всего работать при ночном тарифе (цена за 1 кВт·ч меньше в четыре раза). В старых индукционных счетчиках невозможно учитывать переходы на различные временные тарифы (для этого надо было бы поставить у счетчика человека, который бы следил, когда наступит, например, пиковый тариф, и записывал показания). Это может сделать счетчик, внутренняя программа которого сама следит за переходом из одной тарифной зоны в другую и производит запись расхода электроэнергии отдельно по каждому интервалу. Кроме того, в таких счетчиках, в отличие от индукционных, практически отсутствуют подвижные части. Как следствие, отсутствует самоход (т. е. самопроизвольное движение диска). Электронные счетчики имеют более широкий диапазон по току нагрузки, высокую чувствительность, возможность учета электрической энергии в двух направлениях (эффект рекуперации), встроенную телеметрическую систему. Эти факторы позволяют создавать счетчики более высокого класса точности, которые дают меньшую погрешность при определении количества потребленной энергии. На сегодняшний день в эксплуатации в Украине находится 18.7 млн шт. счетчиков электрической энергии. Из них 95 % – индукционные счетчики, точностные характеристики которых ухудшаются в процессе эксплуатации. Общие потери электроэнергии из-за неправильного учета могут достигать



Рис. 1. Упрощенные структурные схемы непрограммируемого (а) и программируемого (б) счетчиков электроэнергии

2...3 %, что в масштабах страны составляет огромную величину. Следовательно, переход на современные счетчики электроэнергии экономически оправдан и поэтому будет интенсивно продолжаться.

Еще одно из полезных свойств электронных счетчиков – возможность создания на их базе автоматизированной информационной системы сбора и обработки данных по расходу электроэнергии. Если есть несколько небольших предприятий или отдельных подразделений и необходимо осуществлять контроль расхода электроэнергии на каждом из них, необходимо поставить электронные счетчики на точки учета. Затем информация с каждого объекта через модемы (импульсное реле, выход RS-485) передается на один ПК, стоящий в офисе. Даже если понадобится перепрограммировать счетчик, это можно сделать дистанционно через тот же модем.

В таких счетчиках легче решается вопрос защиты от несанкционированного доступа недобросовестного потребителя, пытающегося изменить данные измерений. Электронные счетчики имеют несколько уровней доступа к информации (для чтения, модификации, пере-

программирования). Кроме этого, в памяти счетчика содержится информация обо всех попытках считывания и захода в него. Так что достаточно просто определить, когда данные в счетчике изменялись.

Основная идея, заложенная при создании электронных счетчиков, – это цифровое измерение токов и напряжений. Специально разработанный измерительный микропроцессор вычисляет значения напряжения, тока, электрической мощности и других требуемых параметров. Крупнейшим производителем интегральных схем для производства счетчиков электроэнергии является фирма Analog Devices. На рис. 1 приведены упрощенные структурные схемы современных программируемого и непрограммируемого счетчиков, построенных на базе ИС серии ADE775x этой фирмы.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) через датчики тока и напряжения подключены к цепям, в которых необходимо измерять мощность. Цифровой сигнальный процессор (ЦСП) осуществляет вычисление значения потребляемой мощности и формирует на выходе непрограммируемого счетчика импульсы, частота которых пропорци-

ональна измеренной величине. С помощью шагового двигателя приводится в движение отсчетный механизм, показывающий расход электроэнергии. Внешний вид счетчика с таким отсчетным механизмом приведен на рис. 2.

Программируемый счетчик дополнительно содержит интерфейсный модуль, микроконтроллер для управления счетчиком и связи с внешними устройствами – ЖК дисплеем и информационными интерфейсами. В счетчике, структурная схема которого показана на рис. 1, б, предусмотрены радио- и инфракрасный интерфейсы. Использование сотовой сети GSM (или сети другого стандарта мобильной связи) позволяет осуществлять через радиоканал дистанционный съем информации об измеренных параметрах, а также осуществлять дистанционное управление счетчиком. Все это дает возможность включения счетчика в автоматизированную информационную систему учета расхода электроэнергии. Такие счетчики способны передавать информацию о параметрах качества электроэнергии (например, о частоте и уровне гармоник потребляемого тока, коэффициенте мощности и ряде других) и осуществлять мониторинг параметров сети. Счетчик фиксирует моменты выхода параметров за установленные пределы (например, токов и напряжений), запоминая точное время этого события и суммируя время нахождения параметров за этими пределами. Последу-



Рис. 2. Внешний вид электронно-механического счетчика, построенного на ИС AD7755

ющий анализ сохраненных данных может помочь в решении вопросов стабилизации параметров питающей сети.

Как следует из структурной схемы счетчика, его основными элементами являются датчики тока и напряжения, которые во многом определяют точность и долговременную стабильность его характеристик. В качестве датчиков напряжения используются либо понижающие трансформаторы напряжения, либо резистивные делители напряжения. Трансформатор напряжения подключается параллельно нагрузке и для минимизации потерь энергии в нем должен обладать высоким входным сопротивлением (сопротивление первичной обмотки), т. е. такой трансформатор должен работать в режиме, близком к холостому ходу. Такой режим связан с большими магнитными потерями, а это, в свою очередь, приводит к увеличению размеров магнитопровода и, соответственно, увеличению габаритов счетчика. К другим недостаткам трансформатора можно отнести изменение его характеристик из-за старения металла магнитопровода. Достоинством является то, что он обеспечивает гальваническую развязку цепи нагрузки и измерительной цепи.

**Датчиками тока** могут служить шунты, трансформаторы тока или катушки (пояса) Роговского. Так как датчик тока включается последовательно с сопротивлением нагрузки, то существенным оказывается не только стабильность его характеристик, но и потери энергии в нем. При использовании шунта цепь нагрузки и измерительная цепь гальванически не разделены, в результате чего весь счетчик находится под напряжением. При использовании других датчиков гальваническая развязка обеспечивается.

**Шунты.** В качестве шунтов можно использовать специализированные шунты ISA-PLAN®, предназначенные для использования в элек-

тронных счетчиках электроэнергии, которые выпускаются компанией Isabellenhutte Heusler GmbH KG. Выпускается два типа шунтов – BVO и BVD [1, 2]. В таблице 1 приведены основные технические характеристики шунтов типа ISA-PLAN.

Шунты изготавливаются из манганина, обладают хорошей температурной стабильностью в широком диапазоне рабочих температур. На рис. 3 приведена температурная зависимость сопротивления шунта типа BVO, а на рис. 4 – шунта типа BVD. Точки подключения силовой и измерительной цепей для шунтов BVO показаны на рис. 5. Собственно шунт на рис. 5 показан заштрихованным. Точки подключения силовой части обозначены буквами I<sub>1</sub> и I<sub>2</sub>. Измерительная цепь (на рис. 5 – это вольтметр U) подключается в непосредственной близости от шунта.

**Трансформаторы тока.** В современных измерительных трансформаторах тока применяются сердечники из аморфных сплавов, срок старения которых

не менее 100 лет. Это позволяет обеспечить высокую точность измерения в широком диапазоне токов в течение всего срока службы

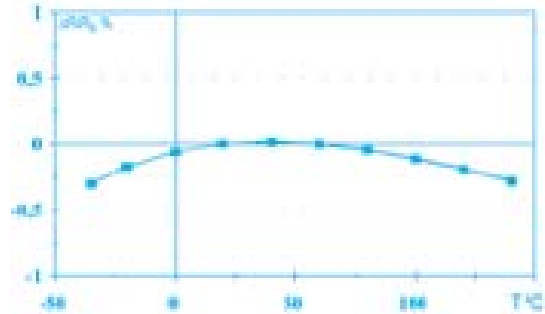


Рис. 3. Зависимость сопротивления шунтов BVO от температуры

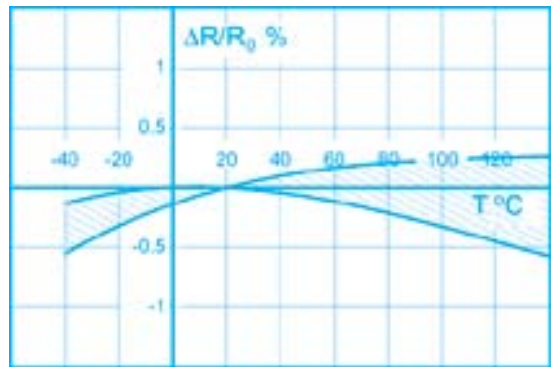


Рис. 4. Зависимость сопротивления шунтов BVD от температуры

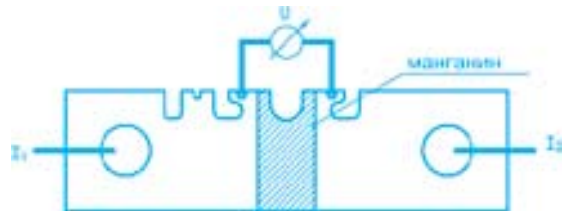


Рис. 5. Точки подключения измерительной и силовой цепей к шунту типа BVO

Таблица 1. Основные технические характеристики шунтов ISA-PLAN

Параметр	Значение	
	тип BVO	тип BVD
Точность, %	5, 1	5, 1
Температурный коэффициент, ppm/°K	<20 (20...60 °C)	<10 (20...60 °C)
Диапазон рабочих температур, °C	-55...125	-55...125
Номинальная рассеиваемая мощность, Вт	3	3
Максимальная рассеиваемая мощность	3 кВт/0.1 с	100 Вт/0.1 с
Отклонение от номинального сопротивления, %	<0.5 за 2000 часов при 80 °C	<0.5 за 2000 часов при 80 °C
Индуктивность, нГн	-	<1
Номинальное значение сопротивления, мкОм	0.16, 0.2, 0.3, 0.5	0.2, 0.5

счетчика. В трансформаторах тока с применением обычной электротехнической стали старение, которое приводит к уменьшению коэффициента передачи, происходит значительно быстрее. Рабочий режим трансформатора тока близок к короткому замыканию, поэтому размеры его магнитопровода значительно меньше, чем трансформатора напряжения. При эксплуатации трансформаторов тока в целях безопасности нельзя оставлять вторичную обмотку разомкнутой, если первичная включена в сеть. В этом режиме напряжение вторичной обмотки может возрасти до нескольких тысяч вольт. Разновидностью измерительного трансформатора тока являются токоизмерительные клещи с разъемным магнитопроводом, в котором роль первичной обмотки выполняет сам провод, по которому течет измеряемый ток. Трансформаторы тока выпускаются на номинальные токи от 2 до 3000 А.

Широкий ассортимент трансформаторов тока для бытовых и промышленных счетчиков электроэнергии и другого применения выпускает компания Tae Hwa Trans. Это трансформаторы для включения в фазные провода, нулевой провод и провод заземления для трех- и однофазных сетей. Они выпускаются высокого класса точности и для промышленного применения. В таблице 2 приведены основные характеристики трансформаторов класса точности 0.2, а в таблице 3 – характеристики погрешностей трансформаторов

Таблица 2. Основные характеристики трансформаторов тока класса 0.2

Тип	Диапазон рабочих частот, Гц	Коэффициент трансформации, А/мА	Номинальное значение тока, А
TZ73V/TZ73L	20...400	5/2	5
TZ89V/TZ89L		10/5	10
TZ77V/TZ77L		20/8	20
TZ71V/TZ71L		40/16	40
TZ84V/TZ84L		10/10	10
TZ85V/TZ85L		60/30	60
TZ76V/TZ76L		100/40	100
TZ87V/TZ87L		120/30	120
TZ31L		150/30	150
TZ105V/TZ105L		200/100	200
TZ79L		240/96	240

Таблица 3. Характеристики погрешностей трансформаторов тока класса 0.2

Параметр	Контролируемый ток, А		
		0.25	3
5	Погрешность, %	0.5	0.5
0.2	Фазовый сдвиг, минут	25	25

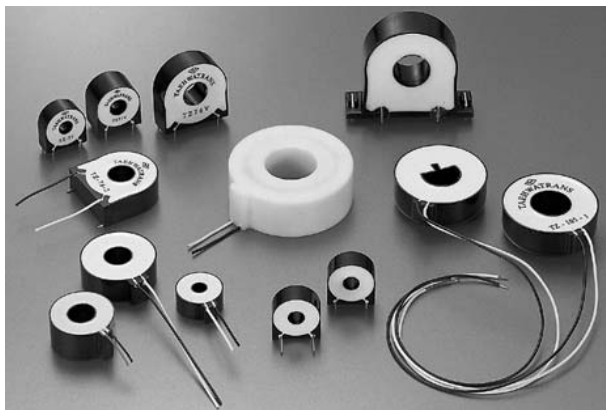


Рис. 6. Внешний вид трансформаторов тока класса 0.2 производства компании Tae Hwa Trans

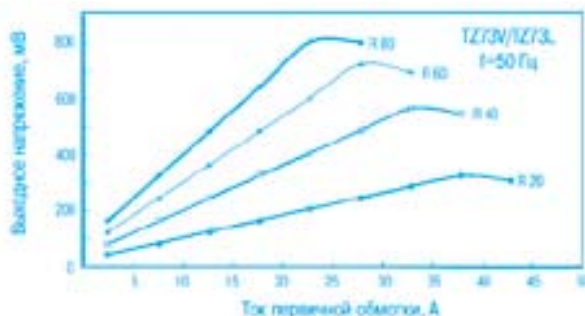


Рис. 7. Зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформаторов типа TZ73V/TZ73L от сопротивления нагрузки

торов при различных измеряемых токах [3].

Трансформаторы выпускаются двух модификаций: с жесткими выводами для вертикальной установки на печатную плату и с гибкими выводами. Внешний вид трансформаторов класса 0.2 приведен на рис. 6. Габаритные размеры самого миниатюрного из них (TZ73V/TZ73L) не превышают 23.5×25 мм, а самого большого (TZ110L) – 62.5×66 мм. Зависимость напряжения на вторичной обмотке для трансформаторов типа TZ73V/TZ73L от сопротивления нагрузки приведена на рис. 7. Более подробно с характеристиками трансформаторов тока других типов можно ознакомиться на сайте компании [3].

#### Катушки Роговского.

В цепях, в которых необходимо измерение импульсного тока, предпочтительно отдается катушке Роговского. Простота использования, точность измерения и надежность стали факторами, обеспечившими широкое распространение этого изобретения. Принцип работы катушки Роговского достаточно прост. Катушка, охватывающая провод с током, реагирует на производную магнитного потока, величина которого пропорциональна току, протекающему через проводник. Следовательно, такие датчики пригодны для измерения тока только в цепях переменного или импульсного тока. Чаще всего катушки Роговского используют при измерении больших токов (сотни и тысячи ампер). Напряжение с

выхода катушки подается на интегрирующее устройство, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный току в контролируемой цепи. На рис. 8 показан внешний вид катушек Роговского производства компании Tae Hwa Trans, а в таблице 4 – основные характеристики этих катушек. Провод, ток в котором необходимо измерять, пропускается в центральное отверстие катушки.

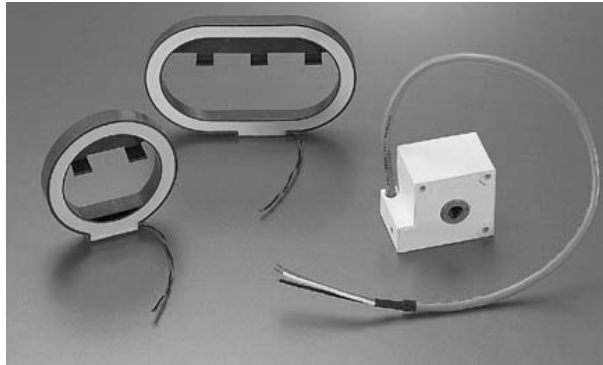


Рис. 8. Внешний вид катушек Роговского производства компании Tae Hwa Trans

**Интегральные схемы счетчиков электроэнергии.**

Для изготовления электронных счетчиков используют широкий набор электронных компонентов – от аналоговых и аналого-цифровых до программируемых, построенных на базе сигнальных процессоров. При выборе элементной базы и разработке схемы необходимо исходить из оптимального соотношения между ценой, качеством и надежностью проектируемого устройства. В зависимости от назначения счетчика и следует выбирать элементную базу.

Analog Devices помогает производителям счетчиков обеспечить необходимые стоимостные показатели и уровень надежности, осуще-

Таблица 4. Основные характеристики катушек Роговского

Тип	Диапазон рабочих частот, Гц	Значение тока, А		Сопротивление нагрузки, кОм	Выходное напряжение, мВ
		ном.	макс.		
TR1L	50...60	63	630	6.43	16.72... 17.22
TR2L		100	1000		
TR3L		125	1250		
TR4L		160	1600		
TR5L		200	2000		
TR6L		250	2500		
TR7L		320	3200		
TR8L		400	4000		

ствяет в полном объеме поставку требуемых электронных компонентов. Фирма продолжает разработку и выпуск новых ИС счетчиков, обладающих более широкими функциональными возможностями и лучшими метрологическими характеристиками.

Интегральные схемы семейства AD775x представляют собой сигнальные процессоры с фиксированным набором функций, ориентированные на решение широкого класса задач. В зависимости от требований к функциональным возможностям счетчиков разработчик может выбирать нужную ИС. Первые ИС этого семейства предназначались для счетчиков с шаговым двигателем. Наличие частотного выхода может быть использовано при реализации интерфейса между счетчиком и микропроцессором. Это дает возможность достаточно просто организовать связь этих устройств с микропроцессором и осуществить калибровку счетчика в процессе производства.

Все микросхемы соответствуют требованиям спецификации IEC 521/1036 для счетчиков класса 1 (диапазон изменения мощности 1000:1) и предназначены для работы в диапазонах температур от -40 до 85 °С. Микросхемы выполнены по КМОП технологии и рассчитаны на напряжение питания 5 В.

В таблице 5 перечислены основные функциональные возмож-

Таблица 5. Основные функциональные возможности счетчиков электроэнергии фирмы Analog Devices

Наименование	Кол-во фаз		Измеряемые параметры			Тип датчика		Выходные сигналы				Последовательный интерфейс	Интерфейс с электромеханическим счетчиком	Возможность тарификации	Тип корпуса
	1	3	Активная мощность	Реактивная мощность	Активная энергия	Шунт	Трансформатор тока	Импульсы для поверки	Сигнал перехода через "0"	Направления передачи энергии	Мгновенной мощности				
AD7750	+		+			+	+	+					+		DIP-20, SOIC-20
AD7751	+		+			+	+	+		+			+		DIP-24, SSOP-24
AD7752		+	+			+	+	+					+		SOIC-24
AD7753	+		+	+	+	+	+	+				+			SSOP-20
AD7754		+	+					+	+			+		+	SSOP-24
AD7755	+		+			+	+	+		+			+		DIP-24, SSOP-24
AD7756	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	DIP-20, SSOP-20
AD7757	+		+			+	+	+					+		SOIC-16
AD7759	+		+			+	+	+				+			SSOP-20

Примечание: ИС AD7753 и AD7759 могут работать с датчиком типа "катушка Роговского".

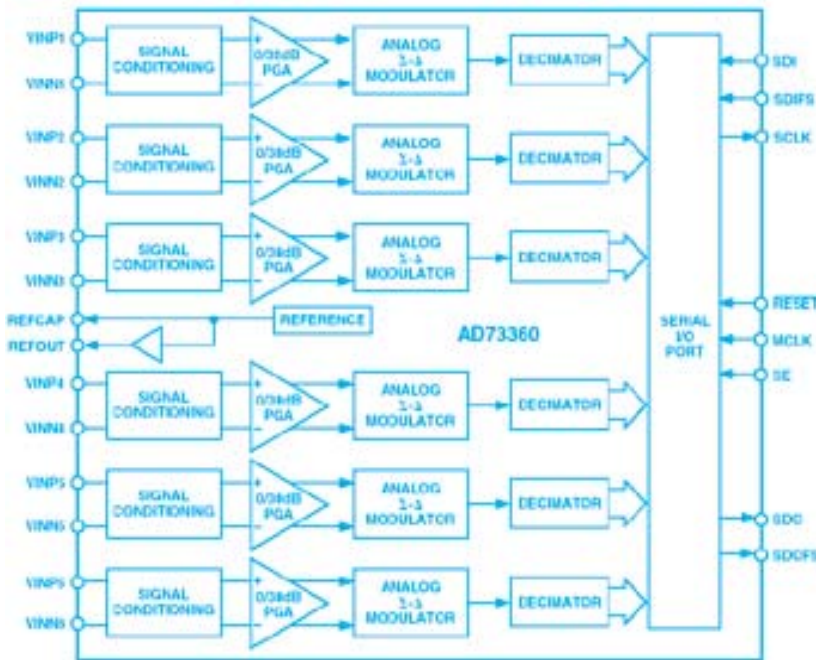


Рис. 9. Функциональная схема DSP AD73360

ности счетчиков фирмы Analog Devices. С параметрами, схемами включения и рекомендациями по применению ИС счетчиков подробно можно ознакомиться на сайте Analog Devices [4].

Счетчики, производимые Analog Devices, имеют целый ряд преимуществ по сравнению с ИС других производителей. Счетчики этой фирмы имеют большой диапазон изменения коэффициента усиления, что дает возможность использования шунта с очень малым сопротивлением (например, 100 мкОм). Типовое значение рекомендуемого сопротивления шунта для ИС других производителей составляет 350...500 мкОм. При токе 20 А, протекающем через шунт, на шунте с сопротивлением 400 мкОм рассеивается на 0.12 Вт мощности больше, чем на шунте с сопротивлением 100 мкОм. Для 20 миллионов счетчиков это составит 2.4 МВт энергии, превращаемой в тепло.

Встроенный регистр для коррекции фазы обеспечивает возможность автоматической калибровки фазы измеряемых сигналов при использовании трансформатора тока. При использовании ИС других производителей необходимо подключение внешних RC цепей для коррекции фазы. Сдвиг по фазе относительно номинального значения на 0.1 градуса приводит к увеличению погрешности измерения мощности на 0.3 % и, как следствие, к неправильному формированию счета за потребляемую электроэнергию.

Датчик di/dt (катушка Роговско-

го) не насыщается при протекании постоянного тока через контролируемую цепь. Встроенный в AD7753 и AD7759 цифровой интегратор позволяет обеспечить долговременную стабильность характеристик счетчика при работе с катушкой Роговского. В то же время ИС других производителей требуют подключения внешних аналоговых интегрирующих цепей, а обеспечить долговременную стабильность аналоговых интеграторов очень сложно.

Кроме специализированных ИС счетчиков, требующих минимального числа дополнительных компонентов, фирмой Analog Devices выпускаются специализированные программируемые сигнальные процессоры типа AD73360. Процессор предназначен для построения трехфазных счетчиков электроэнергии, содержит шестиканальный 16-разрядный АЦП и программируемый усилитель (0...38 дБ). Отношение сигнал/шум 77 дБ, переходное затухание между каналами не хуже 83 дБ. Все АЦП подключаются ко входам встроенного последовательного интерфейса (см. рис. 9). Объединяя в одну систему DSP AD73360 и сигнальный процессор семейства ADSP-21xx, можно построить программируемый счетчик с широкими функциональными возможностями. ИС AD73360 можно объединять и с другими сигнальными процессорами [7]. На рис. 10 приведена функциональная схема соединения DSP AD73360 и DSP ADSP-21xx.

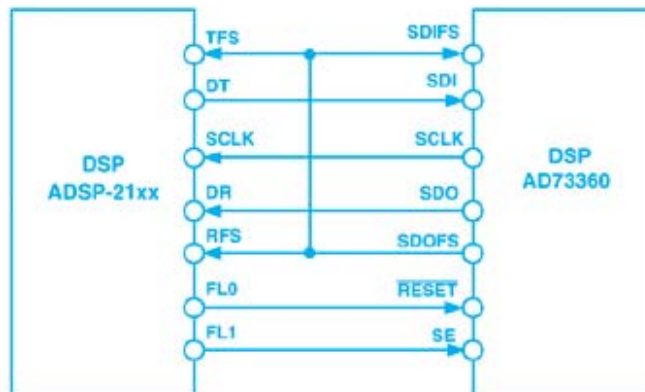


Рис. 10. Функциональная схема соединения DSP AD73360 и DSP ADSP-21xx

Таблица 6. Основные характеристики микроконвертеров

Тип	Параметры АЦП	Параметры ЦАП	Flash/ЕЕ память, кбайт		РАМ-па- мять, байт	Тип корпуса
			команд	данных		
ADuC812	8 каналов, 12 разрядов	сдвоенный, 12 разрядов	8	640	256	52-PQFP
ADuC816	сдвоенный, 16 разрядов	одинарный, 12 разрядов	8	640	256	52-PQFP
ADuC824	24 разряда, 16 разрядов	одинарный, 12 разрядов	8	640	256	52-PQFP
ADuC814	6 каналов, 12 разрядов	сдвоенный, 12 разрядов	8	640	256	28-TSSOP
ADuC834	два АЦП: 24 разряда, 16 разрядов	одинарный, 12 разрядов, сдвоенный ШИМ-выход	62	4000	256+2 К	52-PQFP
ADuC831	8 каналов, 12 разрядов	сдвоенный, 12 разрядов, сдвоенный ШИМ-выход	62	4000	256+2 К	52-PQFP
ADuC832	8 каналов, 12 разрядов	сдвоенный, 12 разрядов, сдвоенный ШИМ-выход	62	4000	256+2 К	52-PQFP

программируемый усилитель, источник опорного напряжения, микроконтроллер типа 8051, память данных и программ, оперативную память, интерфейсные узлы и другие устройства. На базе таких ИС удобно строить программируемые счетчики с широким набором функциональных возможностей. В таблице 6 приведены основные характеристики микроконвертеров.

**Модули для счетчиков электроэнергии.** Для построения недорогих бытовых счетчиков электроэнергии можно использовать EM-модули производства компании EasyMeter. Выпускается два вида модулей: EM1xx-0 и EM1xx-1 для работы в однофазных двухпроводных цепях. Каждый модуль может выпускаться в одной из двух модификаций: EM1SH-x – для работы с шунтом и EM1CT-x – для работы с трансформатором тока [8]. Внешний вид модулей приведен на рис. 11, 12.

Основные характеристики модулей типа EM1xx-0:

- класс точности 1 или 2
- номинальный/максимальный ток, А 5/50 (10/80)
- диапазон рабочих напряжений, В 176 ... 276
- номинальное напряжение, В 220...240
- диапазон рабочих частот, Гц 45...65
- сопротивление шунта, мкОм 500 или 250
- входное сопротивление по входу измерения напряжения 820 Ом/0.033 мкФ
- мощность, рассеиваемая в цепи измерения напряжения, ВА, не более 6 (при 220 В/50 Гц)
- выход для управления шаговым двигателем, имп/кВт·ч 100
- выходной кабель для светодиода.

Модули помещены в корпус из ABS-пластмассы.

Для подключения токовых проводов используется винт М5.

EM модули – это полнофункциональные устройства электронного счетчика электроэнергии. Ядром измерительного устройства является прецизионная измерительная ИС SPM3, разработанная компанией EasyMeter. В ИС с помощью двух сигма-дельта АЦП осуществляется преобразование измеряемых значений тока и напряжения в цифровой код. Вычисление активной энергии выполняется в цифровой форме. Алгоритм, заложенный в SPM3, позволяет также производить измерения постоянной составляющей. Таким образом, модуль соответствует современным требованиям к устройствам подобного назначения. В состав модуля входят: измерительная электроника,



Рис. 11. Внешний вид модуля EM1SH-0 с шунтом



Рис. 12. Внешний вид модуля EM1SH-1 с шунтом



датчик тока и делитель напряжения, блок питания. Входы и выходы модуля имеют повышенную помехозащищенность от электромагнитных помех.

Все модули проходят тестирование в соответствии со стандартом IEC 1036. Это означает, что после их монтажа в корпусе с клеммной планкой и счётным механизмом они соответствуют требованиям стандарта. Серия модулей EM предназначена для применения в однофазных электросчётчиках активной энергии класса 1 в частотной области от 30 до 100 Гц (на частотах 50 и 60 Гц не требуется дополнительная калибровка).

Компания EasyMeter комплектует модули шунтами с низким температурным коэффициентом. При необходимости осуществления гальванической развязки может поставляться отдельный трансформатор тока, использование которого не требует дополнительной калибровки модуля. Трансформатор тока выполнен на тороидальном сердечнике с гибкими выводами и легко одевается на проводник силовой цепи. Особенностью датчиков тока EasyMeter является то, что они взаимозаменяемы без дополнительной калибровки.

При установке модулей в цепях, в которых возможно изменение направления передачи электроэнергии, они могут работать в одном из двух режимов:

- подсчёт электроэнергии осуществляется независимо от направления перетока энергии, показания суммируются и выводятся на индикатор, выходы для телеметрического светодиода активны для обоих направлений передачи энергии
- подсчёт электроэнергии происходит только при положительном направлении энергии, выходы для телеметрического светодиода активны только для одного направления передачи энергии.

При уменьшении тока в цепи нагрузки до величины 20 мА (соот-

ветствует порогу чувствительности измерительного модуля) регистрация энергии прекращается.

Модули EM1SH-0 и EM1CT-0 имеют один тестовый выход для светодиода, который может быть использован для передачи данных без гальванической развязки. Постоянная счётчика на оптическом (тестовом) выходе:  $R_L = 3200$  имп/кВт·ч (50 А),  $R_L = 1600$  имп/кВт·ч (80 А). Электрические характеристики соответствуют требованиям стандарта EN 62053-31, класс А с оптронной гальванической развязкой.

Для подключения выхода модуля без гальванической развязки используется один провод импульсного выхода. В качестве общего проводника используется нулевой провод сети.

Модули EM1SH-1 и EM1CT-1 отличаются от модулей EM1xx-0 наличием встроенного отсчетного устройства EM 1 PWD71R100 с шаговым двигателем.

Внешний вид отсчетного устройства EM 1 PWD71R100 приведен на рис. 13. Устройство содержит механический счетчик числа оборотов и шаговый двигатель. Отсчетное устройство может быть использовано с любыми электро-механическими счётчиками. Основные характеристики устройства EM 1 PWD71R100 приведены в таблице 7, а временные диаграммы сигналов управления шаговым двигателем – на рис. 14.

С такими отсчетными устройствами могут работать ИС производства Analog Devices типа AD7750, AD7751, AD7755, ADE7752, ADE7757. Необходимая для шагового двигателя знакопеременная последовательность прямоуголь-



Рис. 13. Внешний вид отсчетного устройства EM 1 PWD71R100

ных импульсов формируется на выходах "F1" и "F2". Выходной ток для ИС AD7750 – 8 мА, для остальных микросхем – 10 мА.

Отечественными производителями счетчиков электроэнергии разработан и освоен целый ряд современных электронно-механических и электронных счетчиков энергии. В электронных счётчиках в качестве индикаторного устройства используется ЖК дисплей. Однако такие счётчики работают в более узком диапазоне температур. Кроме того, срок службы электро-механического отсчетного устройства больше, чем индикатора на основе ЖК.

На производственном объединении "Киевприбор" освоен выпуск современного бытового счетчика электроэнергии на ИС AD7755 и универсального электронного многотарифного трехфазного счетчика "Каскад". Счетчик "Каскад" может использоваться в трехфазных электрических сетях с шунтами и трансформаторами тока; выполняет функции измерения в многотарифном режиме с записью профиля нагрузки активной и реактивной энергии прямого и обратного направления, измерения действующих значений фазовых токов и напряжений, активной и реактивной мощности, сохранения и передачи в си-

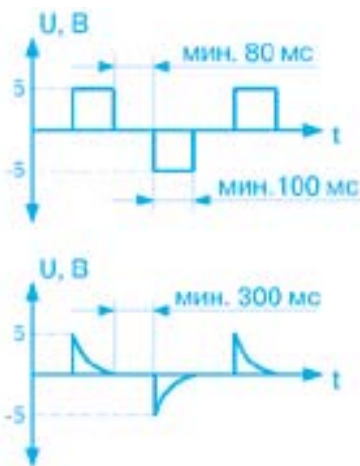


Рис. 14. Временные диаграммы сигналов управления шаговым двигателем

Таблица 7. Основные характеристики отсчетного устройства EM 1 PWD71R100

Привод	Встроенный шаговый двигатель
Управляющий импульс	Прямоугольные или экспоненциальные знакопеременные импульсы
Электрическое подключение	2 паяных вывода или кабель (по требованию)
Индикатор	Всего семь регистров, седьмой – с сотыми делениями
Угол поворота	Пара чередующихся импульсов соответствует повороту барабанчика на 3.6° вправо
Барабанчики счетного механизма	Шесть барабанчиков с белыми цифрами, седьмой – с сотыми делениями – с красными цифрами
Размер цифр, мм	5.1×3.1
Сопrotивление обмотки шагового двигателя, Ом	930±30
Номинальное напряжение питания, В	5±1
Потребляемая мощность, мВт	27
<b>Параметры импульсов управления двигателем</b>	
Прямоугольный импульс, мс: мин. время включенного /выключенного состояния	100 / 80
Экспоненциальный импульс: мин. значение постоянной времени/ мин. время повторения	100 мс/3 T (T определяется активным сопротивлением катушки и емкостью 100 мкФ последовательно включенного конденсатора)
Диапазон рабочих температур, °С	-40...70 (-40...90 по специальному требованию)
Постоянная счётного устройства	100 импульсов на 1 оборот по часовой стрелке
Магнитная защита	Шаговый двигатель полностью защищён стальным корпусом с толщиной стенок примерно 1 мм
Цвет корпуса	Чёрный или серый
Масса, г, не более	50

стемы учета электроэнергии результатов измерения и контроля.

Киевская акционерная компания "Росток" разработала однофазные счетчики, построенные на ИС AD7751 и AD7755.

В лаборатории НВИП "Струм" (г. Винница) разработан электронный однофазный тарифный счетчик СОТ-01, обеспечивающий возможность учета электрической энергии в режиме многотарифности и обеспечения сбора платежей за ее потребление с использованием Smart-карты. Счетчик класса точности 1.0 предназначен для работы в цепях переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Диапазон рабочих токов от 0.5 до 50 А, диапазон рабочих температур -10...55 °С. Функциональные возможности счетчика достаточно широки.

Счетчик позволяет:

- вести учет электроэнергии по нескольким тарифным зонам
- проводить изменение тарифов

при санкционированном доступе

- осуществлять фиксацию даты и времени изменения тарифа
- производить отсчет времени и даты по встроенным часам и календарю
- осуществлять синхронизацию хода внутренних часов
- сохранять информацию при потере питания не менее 10 лет
- осуществлять связь с внешними устройствами посредством цифрового интерфейса
- осуществлять передачу данных по силовой сети
- фиксировать перерывы в питании
- обеспечивать звуковое и световое предупреждение потребителя об окончании кредита
- осуществлять автоматическое отключение потребителя при использовании счета на карточке.

Современные электронные счетчики освоены и другими предприятиями Украины: ЗАО "Днеста", ПКФ "Телекарт", НПО "ЭТАЛ" и др.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Technische Änderungen vorbehalten – technical modifications reserved. BVO. – Isabellenhutte Heusler GmbH KG.
2. Technische Änderungen vorbehalten – technical modifications reserved. BVD. – Isabellenhutte Heusler GmbH KG.
3. <http://www.taehwatrans.com>
4. <http://www.analog.com>
5. Микроконвертеры: современное состояние и перспективы развития // Электронные компоненты и системы. – Киев: VD MAIS, 2002, № 4 (56).
6. 1199 Energy Meter Presentation. – Analog Devices, 2002.
7. Data Sheet: AD73360 Six-Input Channel Analog Front End. – Analog Devices, 2000.
8. Data Sheet: Modules for Electronic Watt-Hour Meters EM1-V1.0-02/01. – EasyMeter, March 2001.

## АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ HAMEG Instruments

В статье рассмотрены анализаторы спектра, которые позволяют не только осуществлять спектральный анализ сигналов в широком диапазоне частот, но и осуществлять математическую обработку результатов измерений. Широкое использование цифровой обработки сигналов обеспечивает значительное расширение функциональных возможностей приборов. Интерфейс с персональным компьютером позволяет осуществлять программное управление всеми режимами работы анализатора дистанционно.

**В. Макаренко**

Анализаторы спектра, производимые компанией HAMEG-Instruments, обладают широкими функциональными возможностями и имеют невысокую стоимость. Компания выпускает четыре модели анализаторов спектра, основные технические характеристики которых приведены в таблице.

Анализаторы моделей **HM5010/HM5011** (рис. 1) позволяют исследовать спектры сигналов в диапазоне до 1050 МГц, изменять полосу анализа в пределах 0.1...100 МГц/дел. Коэффициент нелинейных искажений не более -55 дБ, коэффициент интермодуляционных искажений не более -75 дБн.

Центральная частота полосы анализа может устанавливаться в пределах 0.15...1050 МГц с индикацией частоты на цифровом индикаторе, расположенном рядом с экраном. Динамический диапазон входных сигналов для всех моделей анализаторов не менее 113 дБм. Динамический диапазон сигналов, отображаемых на дисплее, составляет 80 дБ. Входной аттенюатор позволяет менять чувствительность анализатора в пределах 0...40 дБ с дискретностью 10 дБ, что обеспечивает динамический диапазон 113 дБм. Уровень шума при полосе пропускания анализатора 250 кГц – не более -103 дБм. При полосе пропускания 20 кГц уровень шума ниже. С помощью курсора можно устанавливать

маркеры. Значение частоты и уровня сигнала, соответствующих положению маркера, отображаются на цифровом дисплее. Выбор полосы пропускания и отображаемого на цифровом дисплее параметра осуществляется оператором с помощью переключателей.

Полное время анализа во всем частотном диапазоне составляет 23 мс. Выходной сигнал генератора качающейся частоты выведен через разъем, расположенный на передней панели. Уровень сигнала качающейся частоты на этом выходе регулируется в пределах -50...1 дБм ступенями по 10 дБ. Погрешность

### Характеристики анализаторов спектра компании HAMEG Instruments

Параметр	HM5010, HM5011	HM5012, HM5014
Диапазон частот анализа, МГц	0.15...1050	0.15...1050
Разрешение цифрового индикатора, кГц	100	1
Центральная частота анализа, МГц	0.15...1050	0.15...1050
Погрешность измерения частоты, кГц	±100	±1
Дрейф центральной частоты, кГц/час	±150	±1 ppm+ (±0.2 ppm/год)
Масштаб, кГц/дел	100...100 000	1000...100 000
Погрешность установки маркеров частоты, кГц	±(0.1 % шкалы +100)	±1
Погрешность определения частоты маркеров, кГц	-	±(0.1 % шкалы +20 кГц)
Полоса пропускания анализирующего фильтра, кГц	20, 250	9, 120, 1000
Полоса пропускания видеофильтра, кГц	4	4
Динамический диапазон вх. сигнала, дБм	-100...13	-100...13
Уровень шума, отображаемый на экране дисплея, дБм	-103	-100
Погрешность установки маркеров уровня, дБ	-	0.4
Диапазон регулировки входного аттенюатора, дБ	40	40
Максимальный входной уровень, дБм	20	20
Максимальное постоянное входное напряжение, В	±25	±25
Интермодуляционные искажения (3-я гармоника), дБн	-75	-75
Нелинейные искажения, дБ	-55	-70
Время анализа во всем диапазоне частот, мс	23	40, 320, 1000
Мощность, потребляемая от сети, ВА	34	43
Диапазон рабочих температур, °С	10...40	10...40
Габаритные размеры, мм	380×285×125	380×285×125
Масса, кг	7	6

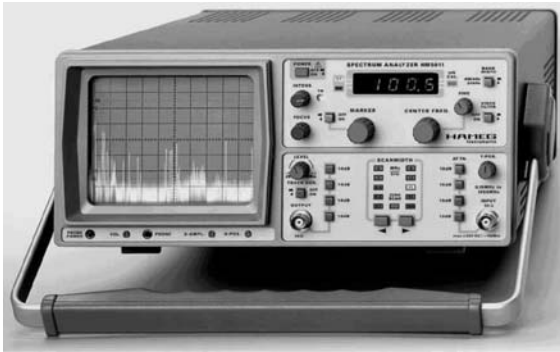


Рис. 1. Анализатор спектра типа HM5010

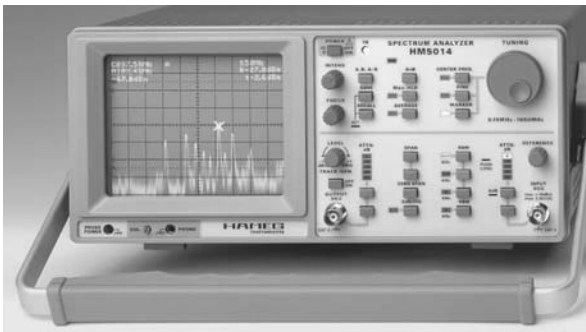


Рис. 2. Анализатор спектра типа HM5014-2

аттенуатора во всем диапазоне рабочих частот не превышает  $\pm 1$  дБ.

С помощью интерфейса HO500-2 можно производить измерения при управлении анализатором от персонального компьютера. При этом обеспечивается передача сигналов управления из ПК в анализатор и данных из анализатора в обратном направлении. Основное назначение анализаторов этого типа – исследования электромагнитной совместимости (ЭМС) различных радиоэлектронных устройств и измерения в каналах кабельного телевидения и системах сотовой

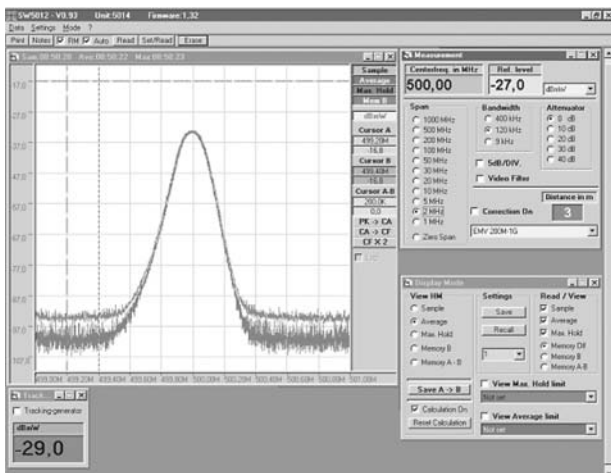


Рис. 3. Спектрограмма, выводимая на экран ПК при работе с анализатором HM5014-2

связи, хотя он может использоваться для анализа спектрального состава и любых других сигналов.

Новейшие модели анализаторов типа HM5012-2/HM5014-2 (рис. 2) построены с применением цифровых синтезаторов частоты и термокомпенсированных кварцевых генераторов, что позволило намного улучшить стабильность центральной частоты анализатора. При этом погрешности установки и измерения частоты не превышают величины  $\pm 1$  кГц.

Разрешающая способность анализатора регулируется ступенчато и имеет три градации – 9 кГц, 120 кГц и 1 МГц. На экран выводится одновременно до 2000 точек спектра исследуемого сигнала. Возможно отображение пиковых или среднеквадратических значений. Внутренняя память анализатора позволяет сохранять 32 результата измерений и 9 установок пользователя, что значительно расширяет функциональные возможности прибора.

Коэффициент гармоник – не более -70 дБ, коэффициент интермодуляционных искажений – не более -75 дБ.

Стандартный интерфейс связи RS-232 позволяет осуществлять управление всеми функциями анализатора дистанционно и обмениваться данными с ПК. В комплекте с прибором поставляется программное обеспечение для управления работой анализатора и обработки результатов измерений. На рис. 3 показан вид экрана монитора ПК с выведенной спектрограммой и органами управления анализатором. Управление работой осуществляется с помощью манипулятора «мышь». Интерфейс пользователя интуитивно понятен и поэтому специальное обучение пользователя не требуется.

Анализатор позволяет осуществлять прием сигналов из эфира на подключаемую к входу антенну, демодуляцию принятых амплитудно-модулированных сигналов и прослушивание их через головные телефоны.

Так же, как и модели HM5010/HM5011, новые анализаторы имеют выход генератора сигнала качающейся частоты (150 кГц...1050 МГц, уровень -50...1 дБм регулируется степенями по 10 дБ, выходное сопротивление 50 Ом). Кроме того, предусмотрен дополнительный выход сигнала для калибровки прибора (48 МГц, уровень -27 дБм, выходное сопротивление 50 Ом).

В стандартный комплект поставки входят: оптический интерфейс RS-232 (HZ70), телескопическая антенна (HZ520), ограничитель коротких выбросов сигнала (HZ560), пробники для измерения в ближнем поле (HZ530) и пробник (HM6050-2) для измерения ЭМС.

## В странах ЕС вводятся новые нормы взрывобезопасности \*

30 июня 2003 г. в странах Европейского сообщества (ЕС) начнут действовать новые нормы для оборудования и защитных систем, используемых во взрывоопасной атмосфере. До этой даты в ЕС имеют силу стандарты и законодательные акты, разработанные на базе "Рамочной директивы 89/391/ЕЕС", принятой 12 июня 1989 г., и дополняющих ее директив, в которых приведены требования для различных областей применения, в частности директивы 76/117 ЕЕС по обеспечению взрывобезопасности. Затем в действие должны вступить новые стандарты и законодательные акты, разработанные на базе полностью пересмотренных норм безопасности, отраженных в двух новых директивах ЕС.

Директива 94/9/ЕС, известная как АТЕХ 95, адресована производителям оборудования и содержит требования к оборудованию и защитным системам, которые могут эксплуатироваться во взрывоопасной атмосфере с повышенным содержанием горючих газов, паров, капельных взвесей и частиц. Директива 99/92/ЕС, известная как АТЕХ 137, устанавливает требования к безопасности на взрывоопасных производствах, направленные на повышение безопасности труда и улучшение охраны здоровья производственного персонала.

Ниже приведен перечень web-сайтов, на которых размещена информация о новых нормах и стандартах взрывобезопасности:

<http://europa.eu.int/comm/enterprise/ateх>

Это официальный web-сайт Европейского союза, на котором содержатся тексты директив АТЕХ и руководств по их внедрению. Документы доступны в форме PDF-файлов на всех языках ЕС. На сайте также содержится перечень национальных организаций стран ЕС, имеющих право сертифицировать предназначенное для эксплуатации во взрывоопасных условиях оборудование и предприятия, имеющие взрывоопасное производство.

[http://www.eotc.be/newapproach/EC\\_Guide/index.htm](http://www.eotc.be/newapproach/EC_Guide/index.htm)

ЕОТС (European Organization for Conformity Assessment) – организация, контролирующая уровень безопасности производственных предприятий в ЕС, но не выполняющая сертификацию оборудования или предприятий на соответствие требованиям безопасности. На ее сайте содержится руководство по внедрению новых директив АТЕХ.

<http://www.newapproach.org/directiveList.asp>

На этом сайте содержатся директивы, в которых отражен новый подход к разработке европейских стандартов взрывобезопасности, сообщения о состоянии работ по выпуску стандартов и сведения о гармонизированных стандартах, отвечающих требованиям директив АТЕХ.

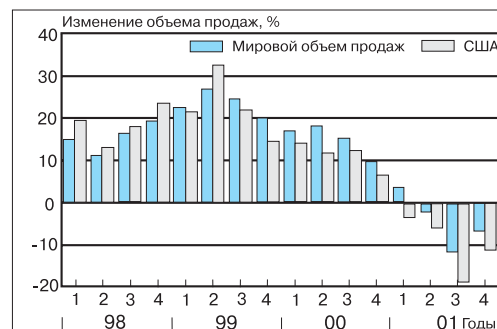
<http://www.iecex.com>

На этом сайте МЭК содержится справочная информация по сертификации на соответствие требованиям стандартов, выпущенных на базе директив АТЕХ. Эта информация подготовлена для обеспечения единства методов тестирования, сертификации и маркирования во всех странах, внедряющих директивы АТЕХ.

\* *Dr. Thorsten Arnhold. Conformity the key to meeting new European explosion protection regulations. – Control Engineering Europe, Feb./Mar. 2002.*

## Спрос на ПК продолжает падать?

Анализ рынка персональных компьютеров показывает, что, начиная с 1999 года, спрос на ПК падает. По прогнозам специалистов фирмы Dataquest после некоторой стабилизации рынка ПК в 2001 году объем продаж персональных компьютеров в дальнейшем будет снижаться. С учетом этой тенденции производители электронных компонентов переориентировались на рынок телекоммуникаций. Основными потребителями электронных компонентов в настоящее время являются компании, выпускающие мобильные телефоны и другие средства мобильной связи. Устойчивый спрос на эти изделия гарантирует высокую стабильность рынка электронных компонентов.



## Новый стандарт для распределенных систем управления \*

На Ганноверской ярмарке 2000 г. группа компаний (AGE Automation, Jetter, KUKA, Lenze, Phoenix Contact, RTI, Schneider Electric, Sick) анонсировала ассоциацию ISA Group и объявила о намерении создать новый открытый стандарт для распределенных систем управления производством – IDA (Interface for Distributed Automation), основанный на использовании технологий Ethernet и Интернет.

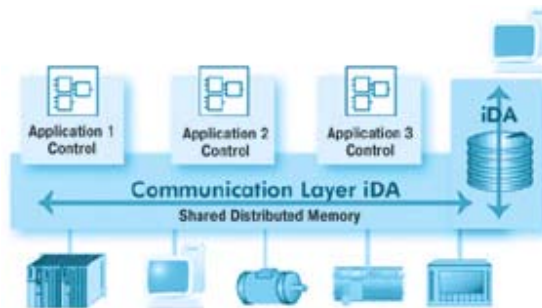
Задачи, которые призван решить новый стандарт:

- обеспечение возможности объединения в единую информационно-управляющую сеть устройств и пакетов программ разных производителей
- обеспечение подключения "plug and play" ("включай и работай") для всех устройств сети
- снижение стоимости систем управления за счет использования массово выпускаемых интерфейсных узлов в стандарте Ethernet.

Традиционные системы управления (например, выпускаемые отделением A&D фирмы Siemens) имеют иерархическую многоуровневую структуру. Стандарт IDA предполагает создание системы управления с одноуровневой структурой, поддерживающей горизонтальную и вертикальную интеграцию распределенных средств искусственного интеллекта. Термин "горизонтальная интеграция" означает связь всех объектов в системе, состоящей из устройств и программ разных производителей. Коммуникационной платформой служит сеть Ethernet с протоколом реального времени. Термин "вертикальная интеграция" означает, что каждое устройство управляющей сети имеет доступ в сеть Интернет и наоборот, а также доступ к центральной базе данных, хранящейся в web-сервере, входящем в состав управляющей сети, или в ином устройстве, подключенном к сети Интернет. Термин "распределенные средства искусственного интеллекта" означает, что все устройства управляющей сети функционируют автономно и содержат необходимую для их работы базу данных.

В настоящее время разработка стандарта завершена и он размещен на web-сайте ([www.ida-group.org](http://www.ida-group.org)), а ассоциация IDA Group предлагает ознакомиться с работой демонстрационной системы управления, в состав которой входят роботы KUKA, контроллеры Jetter, интеллектуальные датчики Sick, приводы Lenze и сетевые компоненты Phoenix Contact. IDA Group приглашает все заинтересованные компании к сотрудничеству в разработке оборудования, совместимого со стандартом IDA.

\* IDA – the comprehensive automation standard. – *Control Engineering Europe, Feb/Mar 2002.*



Структура управляющей сети в стандарте IDA

**Во всех отделениях связи Украины и Российской Федерации  
продолжается подписка на 2002 год  
на журнал «ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СИСТЕМЫ»  
Подписной индекс 40633 в каталогах периодических изданий  
ДП «Преса» (в Украине) и «Подписка 2002» (в России).**

**Среди подписчиков, приславших в редакцию журнала копию абонеента о подписке,  
будет проведена лотерея. Призы: мониторы, CD-ROM, каталоги продукции всемирно  
известных фирм-производителей электронных компонентов и систем и мн. др.  
Стоимость подписки в Украине на 6 месяцев — 20 грн. 52 коп.**

### ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ЖУРНАЛА ЭКиС!

Вышел из печати **каталог электронных компонентов** более 25 фирм (AIM, Agilent Technologies, Analog Devices, Astec Power, BCcomponents, HAMEG Instruments, HARTING, Motorola, Murata, PACE, Schroff, Tyco Electronics, Zarlink Semiconductor и др.), продукцию которых предлагает на рынке Украины и стран СНГ фирма VD MAIS.

**Каталог можно получить в офисе VD MAIS.**

Бесплатная рассылка по почте производится по заявке, направленной по электронной почте: [info@vdm.kiev.ua](mailto:info@vdm.kiev.ua) или факсу: (044) 227-3668 с указанием адреса, ФИО получателя и номера абонеента о подписке на 2002 г.

## 32-РАЗРЯДНЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ ФИРМЫ ANALOG DEVICES

Семейство 32-разрядных сигнальных процессоров фирмы Analog Devices пополнилось новыми изделиями. Так, например, ADSP-21160N является развитием процессора ADSP-21160M. Новый DSP выполнен по КМОП-технологии 0.18 мкм, имеет тактовую частоту 95 МГц в коммерческом диапазоне температур. Напряжение питания ядра нового процессора составляет 1.9 В. Перечень новых сигнальных процессоров и их ключевые особенности приведены в таблице.

Тип сигнального процессора	Основные особенности
ADSP-21160N	32-разрядный SHARC DSP с высокими техническими характеристиками
ADSP-21161N	Недорогой SHARC DSP, тактовая частота 100 МГц, производительность 600 MFLOPS, напряжение питания ядра 1.8 В, периферии – 3.3 В, операции с плавающей точкой – 32/40 разрядов, с фиксированной точкой – 32 разряда
ADSP-21160M	SHARC DSP, тактовая частота 80 МГц, производительность 600 MFLOPS, напряжение питания ядра 2.5 В, периферии – 3.3 В, выполняет операции с плавающей точкой
ADSP-21065L	Недорогой SHARC DSP, тактовая частота 60 МГц, производительность 180 MFLOPS, напряжение питания – 3.3 В, выполняет операции с плавающей точкой
ADSP-21061L	SHARC DSP, тактовая частота 44 МГц, производительность 150 MFLOPS, напряжение питания – 3.3 В, выполняет операции с плавающей точкой
AD14160	Счетверенный SHARC DSP, производительность 480 MFLOPS, напряжение питания 5 В, тип корпуса CBGA
AD14060L	Счетверенный SHARC DSP, производительность 480 MFLOPS, напряжение питания 3.3 В, тип корпуса CQFP
AD14160L	Счетверенный SHARC DSP, производительность 480 MFLOPS, напряжение питания 3.3 В, тип корпуса CBGA
AD14060	Счетверенный SHARC DSP, производительность 480 MFLOPS, напряжение питания 5 В, тип корпуса CQFP
ADSP-21061	SHARC DSP, тактовая частота 50 МГц, производительность 150 MFLOPS, напряжение питания 5 В, выполняет операции с плавающей точкой
ADSP-21060L	SHARC DSP, производительность 120 MFLOPS, напряжение питания 3.3 В, выполняет операции с плавающей точкой
ADSP-21060	SHARC DSP, тактовая частота 40 МГц, производительность 120 MFLOPS, напряжение питания 5 В, выполняет операции с плавающей точкой
ADSP-21062L	SHARC DSP, тактовая частота 40 МГц, производительность 120 MFLOPS, напряжение питания 3.3 В, выполняет операции с плавающей точкой
ADSP-21062	SHARC DSP, тактовая частота 40 МГц, производительность 120 MFLOPS, напряжение питания 5 В, выполняет операции с плавающей точкой



### Уважаемые читатели!

В офисе фирмы VD MAIS можно приобрести

### "Руководство пользователя по сигнальным процессорам семейства SHARC ADSP-2106x"

(на русском языке, 684 с.).

Стоимость "Руководства" 55 гривен.

Заказы принимаются

по электронной почте: [info@vdmiais.kiev.ua](mailto:info@vdmiais.kiev.ua)

или по факсу: (380-44) 227-3668.

## КИЕВСКИЕ ВЫСТАВКИ В АПРЕЛЕ–МАЕ

С 23 по 26 апреля в Киевском Экспоцентре проходила VI Международная выставка "ElcomUkraine 2002 – Энергетика, Электротехника, Электроника", самая большая в Украине выставка промышленных технологий, собравшая 179 участников (в том числе 34 иностранных) из 13 стран мира. На выставке были широко представлены лучшие достижения индустрии XXI века в области электроэнергетики, энергосбережения, электротехники и приборостроения, производства, передачи и распределения электроэнергии, промышленных систем автоматизированного управления и мн. другое. 46 ведущих украинских производителей – участников выставки – продемонстрировали свою продукцию рядом со всемирно известными фирмами из Германии, США, России, Франции и других стран. Особое внимание на выставке было привлечено к таким актуальным проблемам, как электропитание, энергосбережение и автоматизация производственных процессов. В отдельном павильоне на выставке была представлена большая экспозиция электронных компонентов, участниками которой стали такие известные в Украине дистрибьюторские фирмы, как Инкомтех, VD MAIS, Филур Электрик, СЭА, Элтис Украина, Виакон и другие. На стенде VD MAIS была представлена продукция 16 всемирно известных фирм, в том числе широкий ассортимент активных и пассивных электронных компонентов, соединителей, электрокоммутативных устройств, промышленные компьютеры, измерительные приборы, DC/DC преобразователи, шкафы и корпуса, оборудование и материалы для поверхностного монтажа, а также привлекавшая большое внимание посетителей выставки серия микроскопов фирмы Vision, презентацию которой проводил ее представитель John Mansfield, специально прибывший для этой цели в Киев. Остается, однако, дискуссионным, не является ли искусственным разграничение экспозиции электронных компонентов и законченных устройств, систем и комплексов. Не случайно некоторые из участников, чтобы не оказаться обойденными вниманием посетителей, представляли электронные компоненты на двух стендах – в специализированном павильоне и в корпоративном. Правда, у стенда VD MAIS постоянно находились многочисленные посетители, на чьи вопросы едва успевали отвечать менеджеры фирмы. Возможно, это связано с разноплановостью экспозиции, определявшей интерес к ней более широкого круга специалистов.

Выставка и проведенный в ее рамках Инвестиционный Форум подтвердили растущий интерес участников (число которых по сравнению с выставкой 2001 года возросло более, чем на 30 %) и посетителей (6800 человек, более 50 % которых составили технические специалисты и руководители предприятий). Выставка стала свидетельством того, что высокий потенциал Украины привлекает к себе внимание участников мирового рыночного процесса, что Украина стала на-

дежным партнером иностранных производителей, готовым к внедрению новейших технологий и созданию изделий и комплексных систем, отвечающих современным требованиям.

Выставка "ElcomUkraine 2002"



На стенде VD MAIS, в центре – John Mansfield

Не столь ярким событием, как "ElcomUkraine 2002", стала проходившая также в Экспоцентре Украины с 14 по 17 мая III Международная специализированная выставка "Фотоника Украины-2002" и хотя по количеству участников и посетителей выставка была достаточно скромной, участие в ней VD MAIS, в сферу услуг которой входят поставки оптоэлектронных компонентов, в том числе для оптических сетей, не было случайным.

Тематика выставки, состав ее организаторов и участников подтверждают, что интерес в Украине к этому наукоемкому направлению техники и технологии растет и у этой выставки есть перспектива привлечь более широкую аудиторию участников и посетителей.

О III Международной выставке "Энергофорум Украина-2002" (Нефть. Газ. Уголь. Энергетика), проходившей с 21 по 24 мая в Киевском дворце спорта и собравшей 137 участников и 3000 посетителей, можно сказать, что ее целью стала демонстрация реализации государственной политики в сфере модернизации топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Украины, формирования национальной программы технического перевооружения объектов ТЭК, обеспечения условий опережающего развития украинского энергетического и электротехнического машиностроения, повышение энергоэффективности экономики нашей страны.

Все эти высокие задачи должны быть решены отечественными производителями с применением самой современной элементной базы, технологического оборудования и систем промышленной автоматизации. Не случайно поэтому участие фирмы VD MAIS, дистрибьютора всех перечисленных элементов, необходимых для осуществления модернизации ТЭК Украины, в этом форуме. Содействовать процессу обновления ТЭК, внедрению энергосберегающих технологий – задача, посильная VD MAIS.