

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 3 2010

[www.soel.ru](http://www.soel.ru)

- Смешанная технология монтажа компонентов
- Системы в корпусе – решение для ответственных приложений
- Интерфейс USB во встраиваемых системах
- Генератор на микросхеме DDS
- Разработка приложений на базе RTEMS

и многое другое





## **Торо** **Инструмент для создания шедевра**

**Топологический трассировщик печатных плат ТороR – это:**

- Высокая скорость и великолепное качество трассировки
- Превосходный набор инструментов, который многократно сокращает сроки разработки электронных устройств
- Гладкие, без изломов, проводники
- Уникальные алгоритмы и нетрадиционные подходы к решению сложных задач

**ДИСТРИБЬЮТОР EREMEX В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ**

**PROSOFT**®

Санкт-Петербург Тел.: +7 (812) 448-0444 • Факс: +7 (812) 448-0339  
Москва Тел.: +7 (495) 232-1864 • Факс: +7 (495) 232-1654

info@eremex.ru • www.eremex.ru

### Главный редактор

Александр Майстренко

### Зам. главного редактора

Татьяна Крюк

### Редакционная коллегия

Андрей Данилов, Олег Фёдоров

### Вёрстка

Александр Либков

### Обложка

Дмитрий Юсим

### Служба распространения

(info@soel.ru)

Ирина Лобанова

### Служба рекламы

(advert@soel.ru)

Ирина Савина

Издательство «СТА-ПРЕСС»

Директор Константин Седов

Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26

Телефон: (495) 232-0087

Факс: (495) 232-1653

Сайт: www.soel.ru

E-mail: info@soel.ru

Журнал выходит 9 раз в год

Тираж 10 000 экземпляров

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-18792 от 28 октября 2004 года)

Свидетельство № 00271-000 о внесении

в Реестр надёжных партнеров

Торгово-промышленной палаты Российской Федерации

Цена договорная

Отпечатано:

ОАО «Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

Адрес:

109548, г. Москва, ул. Шоссейная, д. 4д

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.



## Уважаемые читатели!

На фоне практически полного отсутствия информации о развитии отечественной микроэлектроники произошло одно интересное событие: в конце февраля одна известная российская газета организовала в достаточно дорогом отеле конференцию, посвящённую «анализу состояния и перспектив развития отечественного рынка микроэлектроники», причём участие в этой конференции было довольно дорогим. Скажем так: оно превышало среднюю месячную зарплату в России. Я получил приглашение на эту конференцию, но не счёл приемлемым поддерживать своими деньгами совсем не чужой для меня отрасли. Из скудных сообщений о результатах конференции удалось узнать, что наша микроэлектроника за последние три года сократила отставание от мирового уровня с 25 до 5 лет. Просто съезд победителей, а не конференция!

Мне пришла на память другая конференция, которая прошла несколько лет назад в Академии наук России. Тема её была та же, но только проходила она не келейно, а в большом конференц-зале здания Академии наук, и специалистам попасть на неё можно было не за большие деньги, а бесплатно. Почему за такой короткий срок произошли такие разительные перемены в освещении проблем отрасли, – спросите вы? Всё просто: тогда федеральные целевые программы по развитию российской электроники ещё не были приняты, тогда только разворачивалась битва за бюджетные деньги. Теперь эта битва выиграна, деньги получены, поэтому и газете разрешено сделать свой маленький бизнес, да и победители не заинтересованы в том, чтобы широко информировать общественность об успехах освоения бюджетных средств – во избежание лишних вопросов.

Я всё же думаю, что среди читателей журнала найдутся небезразличные люди, готовые к открытому обсуждению проблем изнутри, а наш журнал – вполне подходящая площадка для этого.

*С уважением,  
Александр Майстренко*

## Market

News from the Russian Market .....	4
------------------------------------	---

## Modern Technologies

Potential of the Mixed Mounting Technology .....	8
--	---

*Aleksandr Seregin, Maksim Antonov*

Laser Technologies in Electronics .....	10
---	----

*Anna Kudryavtseva*

## Elements and Components

Application of KGD Bare Semiconductor Chips in SiP Designing .....	12
--	----

*Nikolai Danilin, Dimitr Dimitrov, I'yas Sabirov*

High-Frequency Converters for Feeding Long Communication Lines .....	16
--	----

*Vladislav Przhegorlinskii, Sergei Sergeev, Dmitrii Bogoslovskii*

Peculiarities and Parameters of Fuji and Semikron Smart High-Power Modules .....	18
--	----

*Yurii Petropavlovskii*

Linear Technology Voltage and Current Regulator Modules .....	24
---	----

*Igor Bezverkhni*

New Generation of MSP430 Low-Power Microcontrollers .....	28
---	----

*Mikhail Dmitriev*

TFT: Theory and Practice .....	32
--------------------------------	----

*Evgenii Rakhno*

## Devices and Systems

USB Interface in Embedded Systems: Application, Advantages, Limitations, and Prospects .....	34
--	----

*Petr Pavlov*

Auris B-424 Digital Storage Oscilloscope with Ethernet and USB 2.0 Interfaces .....	40
---	----

*Nikolai Levkovich, Sergei Semenovich, Igor Stetsko, Oleg Tyagunov*

## Practical Electronics

Self-Synchronizing Codes and Their Converters. Part 5 .....	42
---	----

*Sergei Goncharov, Gennadii Shishkin*

DDS-Chip-Based Sin-Wave Generator .....	48
---	----

*Valentin Sokol*

Traffic Light Controller .....	52
--------------------------------	----

*Sergei Shishkin*

## Design and Simulation

Sources of Signals with A Priori Statistical Characteristics .....	56
--	----

*Roman Antipenskii, Vladimir Mukovnin*

MathSpice: An Analytical PSpice Engine for OrCAD and MicroCAP. Part 7: Analysis of Transients in Nonlinear Circuits .....	64
---	----

*Oleg Petrakov*

## Programming

Applications Based on the RTEMS Real-Time Operational System .....	68
--	----

*Nikolai Balandin, Aleksandr Krapivnyi*

## Theory

Low-Frequency Aspect of the Skin Effect in Audio Cables .....	72
---	----

*Aleksandr Maystrenko*

## Events

Early-Warning Radar: the 70th Date of Birth .....	76
---	----

*Vladimir Bartenev*

Electronics in Russia: How the Development Strategy Is Seen by Market Participants? .....	78
---	----

## Рынок

4 Новости российского рынка

## Современные технологии

8 Возможности смешанной технологии монтажа компонентов

*Александр Серёгин, Максим Антонов*

10 Применение лазерных технологий в электронике

*Анна Кудрявцева*

## Элементы и компоненты

12 Применение квалифицированных полупроводниковых некорпусированных кристаллов при разработке систем в корпусе

*Николай Данилин, Димитр Димитров, Ильяс Сабиров*

16 Высокочастотные преобразователи для питания линий связи большой протяженности

*Владислав Пржегорлинский, Сергей Сергеев, Дмитрий Богословский*

18 Особенности и параметры интеллектуальных силовых модулей фирм Fuji и Semikron

*Юрий Петропавловский*

24 Микромодули стабилизаторов напряжения и тока фирмы Linear Technology

*Игорь Безверхний*

28 Новое поколение низкопотребляющих микроконтроллеров MSP430

*Михаил Дмитриев*

32 TFT – теория и практика

*Евгений Рахно*

## Приборы и системы

34 Интерфейс USB во встраиваемых системах: применения, достоинства, ограничения, перспективы

*Пётр Павлов*

40 Цифровой запоминающий осциллограф Auris B-424 с интерфейсами Ethernet и USB 2.0

*Николай Левкович, Сергей Семенович, Игорь Стецко, Олег Тягунов*

## Практическая электроника

42 Самосинхронизирующиеся коды и их преобразователи (часть 5)

*Сергей Гончаров, Геннадий Шишкин*

48 Генератор синусоидального напряжения на микросхеме DDS

*Валентин Сокол*

52 Контроллер для светофора

*Сергей Шишкин*

## Проектирование и моделирование

56 Источники сигналов с априорно заданными статистическими характеристиками

*Роман Антипенский, Владимир Муковнин*

64 MathSpice – аналитический PSpice-движок для OrCAD и MicroCAP. Часть 8. Расчёт переходных процессов в нелинейных цепях

*Олег Петраков*

## Программирование

68 Разработка приложений на базе операционной системы реального времени RTEMS

*Николай Баландин, Александр Крапивный*

## Вопросы теории

72 Низкочастотное проявление поверхностного эффекта в звуковых кабелях

*Александр Майстренко*

## События

76 К 70-летию создания первых РЛС дальнего обнаружения

*Владимир Бартенев*

78 Электроника России: какой видят стратегию развития участники рынка?

## Новости российского рынка

### Элементы и компоненты

#### Beckhoff выпустил новые модули ввода/вывода с двойной плотностью контактов

Модули с высокой плотностью контактов (серия HD – High Density) позволяют теперь размещать в стандартном для Beckhoff конструктиве модуля 12-мм ширины не 8, а 16 клемм входов/выходов. Это позволяет повысить плотность монтажа на 50%, что увеличивает компактность модульных сборок и примерно на 15% снижает стоимость оборудования в

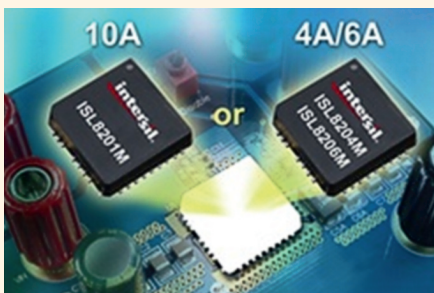


пересчёте на один канал, а также упрощает процедуру монтажа. Клеммная конструкция новых модулей позволяет подключать к ним одножильные и обжатые провода без использования инструмента. Модули выпускаются как для шины K-bus (серия KLxxx – Bus Terminals), так и для шины EtherCAT (серия ELxxx – EtherCAT Terminals). Они полностью совместимы и взаимозаменяемы с аналогичными по функционалу 8-клеммными модулями. В связи с множеством преимуществ новой конструкции, Beckhoff планирует постепенный переход на модули данного типа.

[www.beckhoff.ru](http://www.beckhoff.ru)  
Тел. (495) 981-6454

#### Новое семейство силовых модулей Intersil

Компания Intersil, специализирующаяся на производстве высокопроизводительных аналоговых и гибридных полупроводниковых решений, объявила о выходе двух



новых компактных силовых модулей – ISL8204M и ISL8206M.

ISL8204M и ISL8206M – это полнофункциональные силовые преобразователи в компактных корпусах для поверхностного монтажа. Микросхемы включают в себя ШИМ-контроллер, силовой MOSFET-транзистор, дроссель и дискретные компоненты обвязки. Оба преобразователя pin-to-pin-совместимы с продуктом ISL8201M, анонсированным ранее компанией Intersil. Это позволяет адаптировать мощность устройств POL (Point of Load) на более поздних стадиях проектирования, при этом исчезает необходимость заново разводиться печатную плату. Данное семейство прекрасно подходит для применения в компьютерных системах, телекоммуникациях, сетевой инфраструктуре и промышленной электронике.

ISL8204M, ISL8206M и ISL8201M – это 4-A, 6-A и 10-A модули, которые могут применяться в различных устройствах в зависимости от требований выходной нагрузки. Процесс проектирования устройств POL на базе ISL8204/06/01 – простой и быстрый. Всё, что необходимо – это выходной конденсатор и резистор для установки уровня выходного напряжения.

Основные характеристики:

- полнофункциональный источник питания в одном корпусе:
  - ISL8204M – выходной ток 4 А, 6,6 А (пиковый),
  - ISL8206M – выходной ток 6 А, 8,8 А (пиковый);
- выходное напряжение устанавливается одним резистором (диапазон +0,6...6 В ± 1%);
- КПД до 95%;
- защита от превышения максимального выходного тока;
- встроенная схема мягкого старта;
- широкий диапазон входного напряжения (1...20 В DC).

Компания Макро Групп – авторизованный дилер Intersil в России.

[www.macrogroupp.ru](http://www.macrogroupp.ru)  
Тел.: (812) 370-6070

#### Усилитель CGR-0118Z от RFMD

Компания RF Microdevices (RFMD) – крупнейший мировой производитель радиочастотных и микроволновых компонентов – представляет двухканальный усилитель CGR-0118Z.

CGR-0118Z произведён по технологии InGaP в корпусе SOIC-8, рассчитан на использование в составе балансной схемы включения каскадов. Усилитель спроектирован для сверхлинейных применений с высоким коэффициентом усиления +50 дБмВ на радиоканал. Поэтому CGR-0118Z идеален для применения в усилительных устройствах CATV, недорогих удлинителях линии, кабельных приёмниках головной станции, локальных шлюзах, кабельных модемах.

Частотный диапазон CGR-0118Z составляет 5...65 МГц, что обеспечивает качественное усиление обратного сигнала цифрового интерактивного ТВ.

Характеристики микросхемы на сегодняшний день уникальны:

- искажения второго порядка –80 дБ;
- напряжение питания +5...+12 В;
- рассеиваемая мощность ≈1,6 Вт.

Благодаря технологии InGaP RFMD (известной как HBT8D), CGR-0118Z обеспечивает лучшие характеристики в своём классе.

Особенности микросхемы:

- линейный коэффициент усиления 25,4 ± ±0,3 дБ;
- прекрасный OIP3: 37,5 дБм;
- крайне низкий CSO/CTB: –80/–67 дБ;
- уровень шума: 3,0 дБ;
- напряжение питания: 5...12 В;
- потребляемый ток: 130 мА;
- корпус SOIC-8.

Макро Групп – официальный дистрибьютор RFMD на территории России.

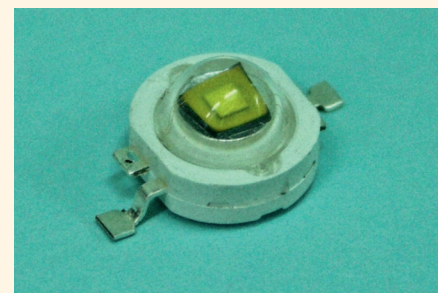
[www.macrogroupp.ru](http://www.macrogroupp.ru)  
Тел.: (812) 370-6070

#### Светодиод «ИРС-100-W»

ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (Санкт-Петербург) представляет мощный белый светодиод «ИРС-100-W» с потребляемой мощностью около 1 Вт.

Основные характеристики:

- номинальный рабочий ток 350 мА;
- низкое тепловое сопротивление (около 6 К/Вт);
- электрически нейтральное основание;
- световой поток – от 60 лм;



## Новости российского рынка

- цветовая температура излучения 3200...5700 К;
- диапазон рабочих температур  $-45...+40^{\circ}\text{C}$ ;
- угол излучения – около  $130^{\circ}$ ;
- габариты –  $14,45 \times 8,0 \times 5,1$  мм;
- средняя продолжительность работы при установке на радиатор: не менее 50 000 ч.

Данный светодиод предназначен для использования в светильниках общего, уличного, ландшафтного и архитектурного освещения.

В светодиоде «ИРС-100-W» используется стандартный корпус типа «эмиттер», хорошо знакомый большинству потребителей и поставщиков комплектующих светодиодной техники. Главная особенность по сравнению с мировыми и российскими аналогами состоит в применении защищённых патентами технических решений, определяющих конструкцию люминофорного слоя светодиода и технику применения силиконовых материалов.

[www.soptel.ru](http://www.soptel.ru)

Тел.: (812) 703-0418

### Радиационно-стойкие загрузочные ПЗУ 5576PT1Y

ЗАО «ПКК Миландр» представляет новую микросхему загрузочного ПЗУ 5576PT1Y для первых российских микросхем ПЛИС. Микросхемы серии 5576XC1T(2,3,4) разрабатываются и выпускаются известным воронежским заводом «ВЗПП-С» совместно с дизайн-центром ОАО «КТЦ «Электроника»». Одна из ключевых особенностей данных ПЛИС в том, что они радиационно-стойкие. Но достигнуто это было за счёт отсутствия памяти программ в микросхеме. Для этих целей и была разработана загрузочная память 5576PT1Y. Опытный вариант микросхемы 5576PT1Y был разработан в виде микросхемы Flash-типа ёмкостью 4 Мбит с интерфейсом JTAG-IEEE Std.1149.1. Далее микросхема будет переведена на технологию antifuse для радиационно-стойких применений. В совокупности это позволит создавать универсальные системы обработки и передачи информации, стойкие к воздействию внешних спецфакторов. Кроме этого данные системы будут иметь широкий рабочий температурный диапазон  $-60...+125^{\circ}\text{C}$ . Компания «Миландр» уже начала распространение бесплатных образцов микросхемы 5576PT1Y заинтересованным предприятиям.

[www.milandr.ru](http://www.milandr.ru)

Тел.: (495) 601-9545

### Драйверы для LED-светильников

ООО «Балтийская Электронная Компания», получившая известность как разработчик и производитель моточных изделий и блоков питания под брендом «Балтэлектронкомплект», активно осваивает новую линейку продукции, связанную с общей рыночной перспективой энергосберегающих технологий и устройств. В связи с развитием рынка светодиодной светотехники и отечественного производства таких осветительных устройств возрастает потребность в блоках питания (драйверах) светодиодов.



В программу производства и поставок ООО «Балтийская Электронная Компания» включены драйверы со стабилизацией по току 350, 500, 620, 700, 1000 мА широкого диапазона мощностей – от миниатюрных плат для единичного одноваттного светодиода до блоков, предназначенных для питания модулей из 20 – 30 светодиодов, а также драйверов нескольких RGB-групп, в том числе совместимых с протоколом DMX512, с питанием от сети и источников постоянного тока. Разработаны драйверы и с функцией диммирования при помощи инфракрасного дистанционного устройства. Габариты плат могут быть адаптированы к форматам осветительных приборов PAR30, PAR38, светодиодным линейкам, уличным фонарям.

[www.bec.spb.ru](http://www.bec.spb.ru)

Тел.: (812)449-0270

### Военные инверторы

ООО «НПП «Встраиваемые модули питания»» предлагает инверторы напряжения серии ВИН с приёмкой «5» с выходной мощностью 900, 1050 и 2100 ВА. ВИН преобразует напряжение постоянного тока в однофазное стабилизированное напряжение  $\sim 220$  В. Коэффициент искажения синусоидальности кривой выходного напряжения 2% при работе на активную нагрузку. Диапазон рабочих температур окружающей среды от  $-10...+40^{\circ}\text{C}$ . Устойчив к внешним факто-



рам: синусоидальной вибрации, пониженной ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) и повышенной ( $+85^{\circ}\text{C}$ ) температурам, низкому атмосферному давлению, повышенной влажности. Срок службы 20 лет. Конструктивно выполнен в виде модуля для установки в 19" стойку. Имеет функцию автоматического выключения при пониженном и повышенном входном напряжении, сигнализацию, электронную защиту от короткого замыкания на выходе. Предусмотрена возможность параллельной работы до шести единиц инверторов.

[www.vmpmodules.ru](http://www.vmpmodules.ru)

Тел.: (495) 937-3847

### DC/DC-преобразователь для работы от высоковольтных сетей постоянного напряжения

Schaefer Inc. предлагает новый DC/DC-преобразователь для работы от высоковольтной сети постоянного напряжения.



Компания Schaefer Inc., производитель надёжных источников питания, начала производство DC/DC-преобразователей серии C4500HV для работы от высоковольтной сети постоянного напряжения.

Преобразователи серии C4500HV способны работать от высоковольтных сетей с напряжениями до 3000 В. Преобразователи обеспечивают высокие выходные напряжения и являются идеальными для применений, в которых требуется надёжное электропитание удалённого оборудования.

Для производства модулей используются электронные компоненты промышленного класса. Модули характеризуются высокой эффективностью и выполнены в корпусе высотой 6U.

Конструкция модулей серии C4500HV аналогична конструкции модулей серии C/B4500, которая предлагает обширный ряд стандартных моделей (свыше 150).

## Новости российского рынка

Функция внешней обратной связи и полный комплект защит являются стандартными. Значение КПД до 90%. Диапазон рабочих температур  $-20...+75^{\circ}\text{C}$  и  $-40...+75^{\circ}\text{C}$  (опция). Дополнительными опциями являются параллельная работа, упрочнение конструкции, сигнал внешнего включения/выключения, сигнализация о неисправностях Power-OK/DC-OK, установка источника в исходное состояние

Модули серии C4500HV можно приобрести у официального дистрибьютора Schaefer в России – компании ПРОСОФТ.

**www.prosoft.ru**  
**Тел.: (495) 234-0636**

### Высоконадёжные источники питания PS3500 с N+1-резервированием

Компания Pepperl+Fuchs начала производство усовершенствованных источников питания серии PS3500, которые предназначены для создания высоконадёжных систем электропитания с N+1-резервированием AC/DC-преобразователей. N+1-резервирование источников питания AC/DC обеспечивает основу для бесперебойного снабжения электропитанием, повышения коэффициента готовности системы и уменьшения простоя системы управления. Этот умеренный по стоимости метод уменьшает возможность появления отказов при преобразовании переменного напряжения в постоянное даже при отказе источника питания.

Модуль источника питания AC/DC PS3500-PM-1.24.15 предназначен для установки на объединительные платы серий PS2500/PS3500 (PS3500-TB-3/6). Источник питания предназначен для работы в аварийных отключающих системах, системах на основе промышленных сетей, а также в системах общего назначения.

Каждый модуль с выходом 24 В/15 А устанавливается на объединительные платы с 3 или 6 установочными гнездами, что позволяет увеличить нагрузочную способность до 45 или 90 А. Выходное напряжение регулируется от 22,5 до 30 В. Источник питания предназначен для работы от сети



переменного напряжения 90...250 В или сети постоянного напряжения 90...300 В и допускает резервное батарейное питание, что делает необязательным подключение ИБП. Модуль источника питания характеризуется высоким значением КПД, до 91%, и использует естественное конвекционное охлаждение.

Каждый модуль работает с автоматическим распределением нагрузки, поэтому модули поддерживают режим горячей замены без влияния на электропитание.

Диапазон рабочих температур  $-25...+45^{\circ}\text{C}$ , диапазон температур хранения  $-40...+85^{\circ}\text{C}$ .

**www.prosoft.ru**  
**Тел.: (495) 234-0636**

### 250-Вт DC/DC-преобразователь для применения на борту общественного электротранспорта

Компания Schaefer Inc., производитель надёжных источников питания, начала выпуск DC/DC-преобразователя серии MHVC250 для работы от высоковольтных сетей постоянного напряжения.



Преобразователь MHVC250 характеризуется широким диапазоном входного напряжения 420...975 В, которое преобразуется в напряжение 24 В постоянного тока для обеспечения электропитанием сигнальных ламп и станций текущего контроля электронного оборудования. Модуль MHVC250 может также применяться в качестве самостоятельно запускающегося модуля в бортовой аппаратуре трамваев или троллейбусов при разряде аккумуляторов.

Упрочнённая конструкция преобразователя и высококачественные электронные компоненты обеспечивают высокую надёжность при эксплуатации на борту общественного электротранспорта даже в условиях воздействия вибраций и ударов. Преобразователь выполнен в компактном алюминиевом корпусе с габаритами 330 × 170 × 90 мм и предназначен для настенного монтажа.

Высокоэффективный преобразователь MHVC250 предназначен для работы в широком диапазоне температур  $-40...+85^{\circ}\text{C}$

с конвекционным отводом тепла. Преобразователь оснащён защитой от короткого замыкания.

В серии MHVC доступны также модели с выходными мощностями 100, 500 и 1000 Вт.

**www.prosoft.ru**  
**Тел.: (495) 234-0636**

### Новые светильники XLight® – высокая надёжность и низкое энергопотребление

Компания XLight® представляет новую серию светодиодных светильников XLD-FL36, а также XLD-FL24 и XLD-FL18.

Высокая эффективность, низкие затраты на обслуживание, исключительная надёжность, экологичность и безопасность – основные конкурентные преимущества светотехнического оборудования компании XLight®. Новая серия светильников XLD-FL36 в полной мере обладает всеми перечисленными качествами.

Использование полупроводниковых светодиодов Cree XLamp новой серии XP-E и новейших разработок в области систем питания светодиодов обеспечивает значительную экономию электроэнергии. Кроме того, применение в качестве источников света высокоэффективных и надёжных светодиодов компании Cree гарантирует стабильность светового потока и цветовых характеристик белого света в течение всего срока службы. XLight® – единственная в России компания, имеющая официальный статус Cree LED Solution Provider.

Повышенная надёжность светильников серии XLD-FL36 обеспечена прочностью конструкции корпуса, а также системами защиты от попадания пыли и влаги и от перегрева электронного блока питания и управления. Благодаря названным преимуществам новые светильники от XLight® – идеальное решение для применения в самых различных сферах: от архитектурного



## Новости российского рынка



и ландшафтного освещения до освещения промышленных цехов и ремонтно-технических зон.

Преимущества светильников XLD-FL:

- компактные размеры,
- широкий температурный диапазон эксплуатации:  $-40...+50^{\circ}\text{C}$ ,
- класс защиты IP65,
- высокая вандалостойкость,
- универсальное крепление,
- простота монтажа,
- широкая номенклатура вариантов исполнения,
- высокая экономичность и эффективность,
- гарантия 5 лет.

Области применения:

- внутреннее и наружное освещение,

- освещение складских комплексов,
- освещение технических зон,
- освещение производственных помещений,
- освещение торговых центров,
- освещение общественных зон,
- архитектурно-художественное освещение,
- ландшафтное освещение,
- создание световых эффектов.

Приобрести светильники можно у официального дистрибьютора XLight® – компании ПРОСОФТ.

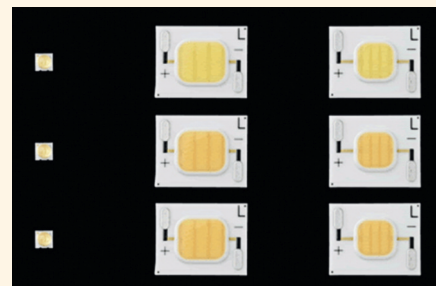
[www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)  
Тел.: (495) 232-2522

### Sharp расширяет линейку сверхъярких модулей Zenigata

Sharp Corporation официально представила девять новых светодиодных изделий, включая чипы для SMD-монтажа мощностью 0,5 Вт и кластеры LED Zenigata, идеально подходящие для использования в точечных источниках света и в грушевидных лампочках.

Светодиодные изделия всё больше заменяют на рынке традиционные источники света. Особенно повышается актуальность светодиодного освещения в случаях, когда искажение натуральных цветов недопустимо, например, при освещении цветов или продуктов. Именно для этого сегмента потребления Sharp разработал серию новых LED-устройств с высоким индексом цветопередачи с вариантами моделей в двух типах корпусов.

SMD-чипы производятся в корпусе, изготовленном с применением собствен-



ной технологии двойного литья, с первичной оптикой, приспособленной для использования в LED-подсветке телевизоров AQUOS LCD. Особо улучшенная световая отдача в 38 лм является максимальным показателем в отрасли для класса устройств мощностью 0,5 Вт (GM2BB50BM0C).

Новые светодиодные кластеры Zenigata имеют габариты примерно вдвое меньше (56%) размеров предыдущих моделей – благодаря такой компактности модули легко встраиваются в светотехнические устройства и оборудование.

Sharp поставляет на рынок светодиодные изделия и приспособленные под задачи клиентов периферийные компонентные модули (комбинации отдельных модульных компонентов, таких как микросхемы питания и платы для монтажа), а также предлагает готовые светодиодные решения для индивидуальных потребностей клиентов. Помимо многолетнего опыта в разработке светодиодов, Sharp обладает уникальной модульной технологией, которая помогает создавать наиболее «продвинутые» LED-устройства.

[www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)  
Тел.: (495) 232-2522

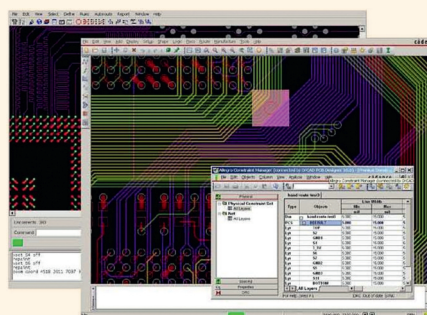
## Программирование

### Cadence Design Systems объявила о выпуске новой версии популярного в России пакета проектирования печатных плат SPB/OrCAD 16.3

Американская компания Cadence Design Systems – мировой лидер в области разработки САПР электроники и микроэлектроники – выпустила новую версию популярного в России пакета проектирования печатных плат SPB/OrCAD 16.3.

Пользователи предыдущих версий OrCAD будут приятно удивлены появлению в среде проектирования новых технологий:

- PCB Editor – редактор многослойных печатных плат с высокой плотностью компонентов;



- Signal Explorer – моделирование целостности сигналов и паразитных помех на топологическом уровне;
- FPGA Planner – пакет проектирования интегрированных проектов «печатная плата – ПЛИС».

Сегодня SPB/OrCAD 16.3 является ведущим пакетом проектирования электроники

благодаря следующим функциональным особенностям:

- сквозное ведение проекта и синхронизация всех модульных блоков пакета;
- возможность подключения портала Active Parts: поиск, выбор компонентов и добавление в проект на уровне одного клика;
- применение средств комплексного моделирования до выпуска макетного образца;
- использование мощного инструментария бессеточного автотрассировщика SPECCTRA.

По вопросам приобретения и обучения обращайтесь к официальному дистрибьютору Cadence Design Systems в России – компании ОРКАДА.

[www.orcada.ru](http://www.orcada.ru)  
Тел.: (499) 136-3213

# Возможности смешанной технологии монтажа компонентов

**Александр Серёгин, Максим Антонов (Московская обл.)**

**Оборотной стороной бессвинцовой технологии монтажа электронных компонентов является качество пайки, недостаточно высокое для аппаратуры специального назначения. На помощь приходит так называемая смешанная технология, позволяющая выполнять пайку бессвинцовых компонентов содержащими свинец пастами.**

После развала СССР в приборостроительной отрасли сложилась ситуация, когда для изготовления современных электронных устройств не было соответствующей элементной базы вследствие отставания отечественных производителей в технологиях. Большинство предприятий, производящих электронику, стали заложниками зарубежных поставщиков электронных компонентов.

После вступления в силу 1 июля 2006 г. Европейской директивы RoHS задача производства и монтажа электронных изделий, особенно военного назначения, в России ещё более усложнилась. Директивы RoHS ограничивают применение свинца в изделиях гражданского назначения, но не распространяются на аппаратуру военного и аэрокосмического назначения. Оказалось, что зарубежные компоненты, пригодные для производства аппаратуры с применением свинца, в большинстве своём являются компонентами военного назначения, и их стало намного труднее импортировать. Запрет на использование свинца в паяльных пастах ещё можно обойти, т.к. они производятся в России и странах Азии, которые не придерживаются европейских директив, но производство сложной элементной базы, а именно СБИС и УБИС, располагается

на территориях, где директивы RoHS действуют. Вследствие этого предприятия могут достать содержащие свинец припой и пасты, но сами компоненты с содержащим свинец покрытием выводов им недоступны.

Полный переход на бессвинцовую технологию возможен, но связан с рядом трудностей, преодоление которых технологически нецелесообразно. Трудности эти следующие:

- повышение температуры пайки в среднем на 20...30°C, тогда как при повышении температуры пайки на каждые 8 градусов количество дефектов в конечных изделиях увеличивается примерно в два раза;
- необходимость замены или переналадки оборудования монтажа вследствие увеличения температуры пайки;
- необходимость разработки и внедрения новых флюсов;
- необходимость переобучения персонала, занятого визуальным контролем качества паяных соединений, поскольку внешний вид паек по RoHS-технологии отличается от вида паек по традиционной технологии с применением свинца.

Проблема надёжного монтажа RoHS-компонентов очень актуальна для предприятий, производящих аппаратуру специального назначения. Перед

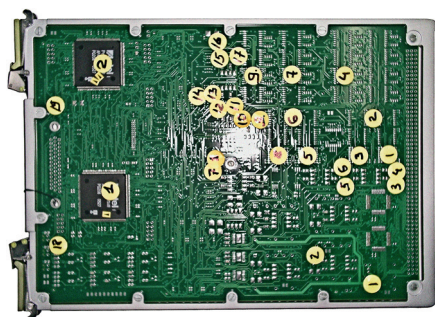
ними встала задача освоить некую промежуточную технологию, использующую для монтажа RoHS-компонентов старое оборудование и содержащие свинец паяльные пасты. Такая технология получила название «смешанной», именно о ней и пойдёт речь дальше.

При сотрудничестве с рядом ведущих российских предприятий был проведен ряд экспериментов над серийным изделием, изготовленным методом поверхностного монтажа RoHS-компонентов с помощью содержащей свинец паяльной пасты с добавлением серебра ( $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$ ) [2, 3].

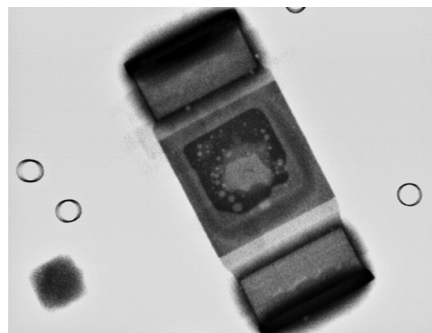
Сразу после монтажа и после испытаний был произведён визуальный осмотр паяных соединений (ПС) с целью обнаружения внешних дефектов. Скрытые дефекты выявлялись с помощью установки рентгеновского контроля Micromex. Были выявлены дефекты паяных соединений, а именно наличие пустот, которые составили не более 15% от общего объёма пайки. На рис. 1 показаны места пайки, где были обнаружены пустоты.

Были проведены следующие испытания опытного образца с целью определения степени надёжности паяных соединений и выявления деградации их структуры под действием различных агрессивных сред и механических нагрузок:

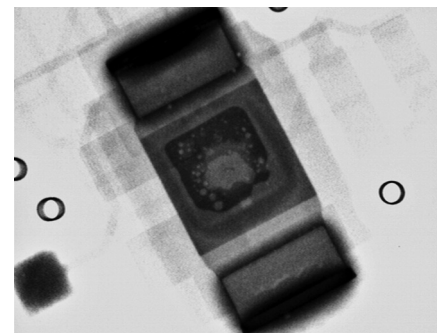
- испытание на вибростойкость синусоидальной вибрацией последовательно по 5 мин в направлении каждой из осей X, Y, Z в диапазоне частот 20...2000 Гц при ускорении до 15g;
- испытание на стойкость к циклическому изменению температуры (ТЦ) в



**Рис. 1. Макетный образец, на котором испытывалась «смешанная» технология**



**Рис. 2. Диод после монтажа с применением «смешанной» технологии перед испытаниями**



**Рис. 3. Диод после монтажа с применением «смешанной» технологии после испытаний**

диапазоне  $-60...60^{\circ}\text{C}$  по часу на каждом значении, всего 10 циклов;

- воздействие одиночного удара в направлении оси Z с максимальным пиковым ускорением 50g и длительностью воздействия 1...3 мс по 8 ударов в двух направлениях;
- испытание на влагостойкость в течение 5 суток при относительной влажности  $93\pm 3\%$  и температуре  $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- продолжительное термическое испытание: 100 циклов термоциклирования в диапазоне  $-60...+60^{\circ}\text{C}$  по часу на каждом значении с визуальной инспекцией через каждые 20 циклов.

После испытаний был произведён анализ внутренней структуры паяных соединений с помощью рентгеновских снимков. Анализ выявил, что изменений в паяных соединениях (ПС) за время испытаний не произошло, следовательно, применение содержа-

щих свинец материалов при поверхностном монтаже RoHS-компонентов вполне оправданно. Также не было обнаружено образований интерметаллидов, возникающих вследствие миграции серебра в структуру контактных площадок печатной платы [2, 4].

Сравнение структур паяных соединений до испытаний (рис. 2) и после испытаний (рис. 3) показало, что количество и характер дефектов (микропустот и их скоплений) в целом в норме и составляет 1...15% от площади ПС (согласно стандарту IPC-7095A допустимо 25% объёма пустот от общего объёма ПС).

Технологический процесс поверхностного монтажа с применением бессвинцовых паст требует повышенной температуры при пайке, что приводит к термоударам по кристаллам микросхем и короблению печатных плат. Кроме того, наблюдается худшая сма-

чиваемость припоем выводов компонентов и контактных площадок.

Применение содержащих свинец материалов позволит оптимизировать производство и эффективно выполнять монтаж RoHS-компонентов в различных корпусах даже при высоких требованиях к надёжности и качеству электронных изделий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиски устранения дефектов: Поверхностный монтаж, BGA, CSP и Flip Chip технологии. М.: Технологии, 2006.
2. Джюд М., Бридли К. Пайка при сборке электронных модулей. М.: Технологии, 2006.
3. Сускин А.В. Основы технологии поверхностного монтажа. Рязань: Узороучье, 2001.
4. Lang D. Guidelines for Mounting Fairchild's BGA Packages. Application Note 7001, March 2002.

## Новости мира News of the World Новости мира

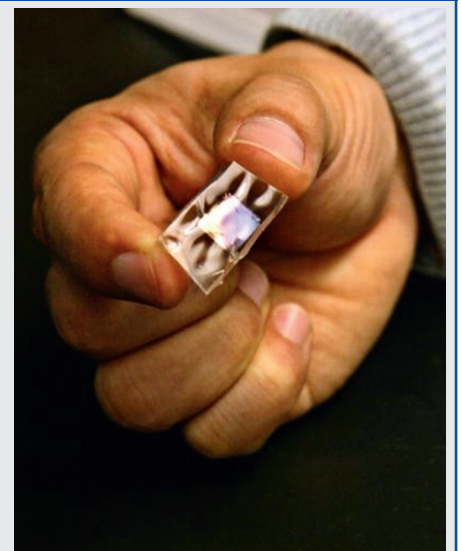
### «Пьезоэластичные» чипы соберут энергию для телефона при ходьбе

Чтобы собирать практически дармовую энергию, не предпринимая при этом специальных физических усилий, не обязательно дожидаться одежды со встроенными солнечными ячейками – есть более близкая к реальности и не зависящая от капризов погоды технология. В Принстонском университете (Princeton University) разработаны генерирующие энергию эластич-

ные плёнки, которым нужна лишь двигательная активность – ходьба, дыхание и т.п. Созданный учёными материал состоит из встроенных в силиконовые пластины керамических нанолент и при изменении формы конвертирует механическую энергию в электричество. Однажды изготовленные с применением разработки кроссовки смогут обеспечить потребности того же мобильного телефона. А будучи встроенным в кардиостимуляторы, материал избавит от необходимости замены элемента питания.

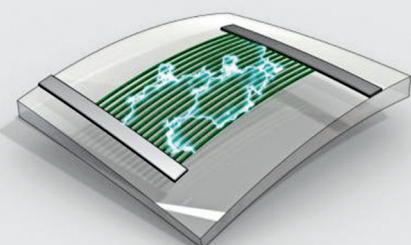
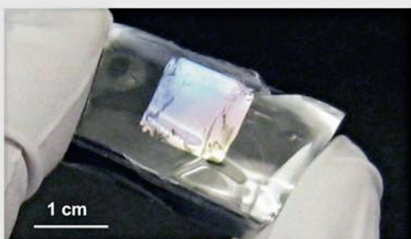
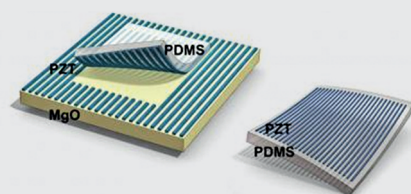
Как заявляет принстонская команда исследователей, она первой успешно объединила силикон и наноленты из цирконата-титаната свинца (lead zirconate titanate, PZT) – керамического материала, являющегося пьезоэлектриком, т.е. генерирующим электрический заряд при деформации. Среди всех таких материалов PZT наиболее эффективен, поскольку конвертирует 80% приложенной механической энергии. По словам возглавляющего проект профессора механической и аэрокосмической инженерии Майкла МакЭлпейна (Michael McAlpine), PZT в 100 раз эффективнее кварца. А это исключительно важный параметр, ведь во время ходьбы генерируется немного энергии, и чем большее количество будет трансформировано, тем лучше.

Наноленты настолько малы, что сто уложенных рядом поместятся в пределах миллиметра. После интегрирования в прозрачные листы силикона получаются устрой-



ства, которые исследователи называют «пьезоэластичными чипами». Поскольку силикон биологически совместим, его контакт с телом не грозит никакими последствиями. По оценке МакЭлпейна, новые высокотехнологичные генераторы могут быть имплантированы в тело для постоянного обеспечения питанием медицинских приборов без риска отторжения. Как и свойственно пьезоэлектрикам, существует обратный эффект: внешний источник тока деформирует материал. Это открывает другие перспективы – например, в области микрохирургических инструментов. Ещё одна характерная особенность разработки – это масштабируемость, т.е. со временем чипы будут становиться больше. Правда, сроки не называются.

physorg.com



# Применение лазерных технологий в электронике

**Анна Кудрявцева (Москва)**

Лазерные технологии в электронике и микроэлектронике освоены во всём мире давно и широко. При этом различные типы лазерной обработки большей частью либо успешно заменяют традиционные методы обработки, либо попросту не имеют аналогов. В данной статье представлен обзор некоторых технологий, которые находят активное применение в электронной промышленности.

В настоящий момент электроника, как промышленная, так и бытовая, является одной из основных отраслей применения лазерных технологий. В электронике лазерные методы обработки применяются, в частности, для:

- обработки новых и традиционных материалов, например, создания топологии микросхем;
- создания 3D-структур (объёмных сенсоров, СВЧ-компонентов, приборов терагерцового диапазона);
- увеличения плотности компоновки и создания сверхбольших ГИС;
- трёхмерных (многослойных) изделий;
- разработки интеллектуальных систем;
- MEMS-датчиков и приборов на основе тонкоплёночной технологии;
- создания сверхлёгких гибких компонентов, мембран, панелей и т.д., а также для решения целого ряда иных задач.

## ОБРАБОТКА ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Технологии, связанные с обработкой тонкоплёночных элементов, применяются в электронике при производстве ЖК- и плазменных панелей,

сенсорных экранов, солнечных элементов.

Лазерная технология обработки тонких плёнок с присущей ей высокой производительностью, минимальными размерами дефектных зон, высокой точностью фактически не имеет альтернативы, так как другие технологии (например, механическое скрайбирование) не позволяют выполнять современные требования по высокой точности обработки и производительности.

Речь идёт, в частности, о базовых процессах по созданию структур в тонкоплёночных проводящих слоях (например, в TCO) и в «рабочем» полупроводниковом поглощающем слое (например, из аморфного кремния). Использование двух-трёх импульсных лазеров с различными длинами волн позволяет выборочно удалять участки тонкой плёнки соответствующего материала, почти совершенно не повреждая соседние слои. Использование координатных столов с линейными двигателями, интегрированных с современными лазерами, позволяет, кроме того, обеспечить высококачественную обработку очень больших площадей тонкоплёночных материалов.

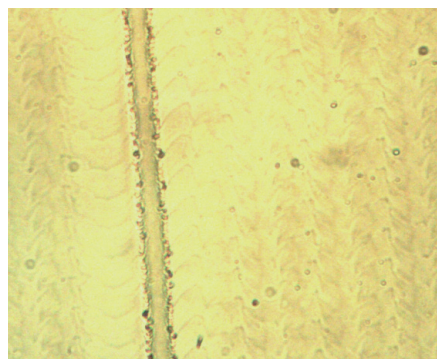


Рис. 1. Удаление проводящего покрытия

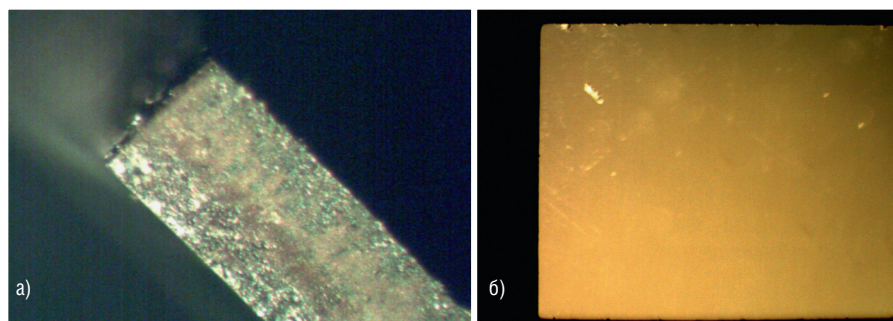


Рис. 2. Вырезка прямоугольных сквозных отверстий в кремнии.

а) вид с торца и б) вид сверху

На рисунке 1 показан образец с прозрачным проводящим покрытием, удалённым по полосе шириной 30 мкм для формирования изоляции по краю («раскоротки»).

## ОБРАБОТКА КРЕМНИЯ

Кремний широко применяется как в электронной промышленности, так и в солнечной энергетике.

Экспериментально показано, что лазерные технологии могут эффективно применяться для осуществления до десяти операций, повышающих технико-экономические характеристики, в частности КПД, монокристаллических и поликристаллических кремневых фотоэлементов и изделий микроэлектроники. Речь здесь идёт о резке, скрайбировании, модификации поверхности, например, для снижения потерь при отражении, сверлении микроотверстий и создании канавок для контактов с целью снижения «теневого эффекта», отжиге контактов, изоляции краев и т.д.

На рисунке 2 показан результат экспериментов по вырезке сквозных отверстий прямоугольной формы в пластинах кремния толщиной 400 мкм. Возможно также выполнение отверстий любой другой произвольной формы.

## МИКРОМАРКИРОВКА

При микромаркировке кремния, а также ряда других материалов достигаемая высота символов при отличной читаемости составляет 50...90 мкм. На рисунке 3 показан образец полированного кремния с маркировкой высотой 50 мкм.

### РЕЗКА КОМПОЗИТОВ

Использование различных источников лазерного излучения позволяет подобрать оптимальную технологию для резки различных композитных материалов.

Управление перемещениями луча с помощью высокоточных гальваноскаперов, или высокопрецизионных кинематических систем на линейных двигателях позволяет осуществлять обработку по любому сколь угодно сложному контуру с высокой точностью и повторяемостью. Таким образом удаётся добиться минимальной зоны термического воздействия и резки без дефектов и заусенцев.

### СВАРКА РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Точечная и шовная лазерная сварка металлов и пластмасс – один из наиболее широко известных видов применения лазеров в электронной промышленности. Эта технология позволяет соединять детали самых миниатюрных электронных компонентов и разнородные материалы, например, медь и алюминий.

Отдельно следует упомянуть сравнительно новую технологию лазерной сварки пластмасс. Это специализированная технология соединения пластиковых деталей, позволяющая добиться следующих преимуществ:

- герметичности шва;
- отсутствия износа обрабатываемого инструмента;
- отсутствия разбрызгивания вещества;
- отсутствия вибраций;
- оптической чистоты поверхности сварного соединения;
- высокой точности.

Кроме упомянутых выше технологий, безусловно, в электронике давно и активно используются такие технологии, как лазерная подгонка резисторов.

Расширяющиеся области применения лазерных технологий прецизионной обработки ставят задачи дальнейшего улучшения качества, уменьшения глубины дефектного слоя, повышения производительности, решить которые невозможно без разработки новых технологий и типов систем.

Что касается производителей лазерного оборудования для электронной



Рис. 3. Микромаркировка по полированному кремнию, высота букв – 50 мкм

промышленности, то их, как может показаться на первый взгляд, не так много. Это связано, прежде всего, как с комплексностью технологий, применяемых в электронике, так и со сложностью инструментальной базы, включающей новейшие типы лазеров и специализированные системы перемещения с использованием линейных двигателей.

Представленные на мировом рынке производители такого оборудования – в основном немецкие и американские компании, однако и среди российских предприятий есть производители, оборудование которых не уступает импортным аналогам, а зачастую даже превосходит их.



## КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ С ВОЛОКОННЫМИ ИТТЕРБИЕВЫМИ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫМИ ЛАЗЕРАМИ

Прецизионные высокоскоростные координатные столы на линейных двигателях (до 5 координат), автоматизированное управление

### РЕЗКА И РАСКРОЙ

Резка и сложноконтурный раскрой стали толщиной до 10 мм алюминия, меди с размерами листа до 1250x2500 мм с высоким качеством и точностью обработки по контуру.



### СВАРКА

Ручная и автоматическая точечная и шовная сварка различных металлов и сплавов по произвольному чертежу. Гибридные технологии сварки.



### МАРКИРОВКА и ГРАВИРОВКА

Маркировка и глубокая гравировка промышленной продукции, идентификационное и защитное кодирование, нанесение надписей на приборные панели, инструмент, клавиатурные поля и т.д.



### МИКРООБРАБОТКА

Прецизионная размерная обработка, микромаркировка тугоплавких и труднообрабатываемых металлов, кристаллов, керамики, сверление и прошивка отверстий, термораскалывание. Точность до 1 мкм.



Разработка технологий, сервисное обслуживание, ремонт и модернизация

**ESTO** ЛАЗЕРЫ И АППАРАТУРА ТМ

Тел./факс +7 495 6519031, +7 495 7740071, www.estoco.ru, market@estoco.ru

Реклама

# Применение квалифицированных полупроводниковых некорпусированных кристаллов при разработке систем в корпусе

Николай Данилин, Димитр Димитров, Ильяс Сабиров (Москва)

Создание систем в корпусе (СвК) является одним из самых перспективных и экономически обоснованных путей создания микроминиатюрных электронных систем. Важнейшее значение при разработке и реализации СвК имеет выбор квалифицированных полупроводниковых кристаллов (КГД). В статье обсуждаются вопросы приобретения, стандартизации, сборки и тестирования КГД.

## ВВЕДЕНИЕ

Электронная компонентная база (ЭКБ) относится к критически важным технологиям и оказывает определяющее влияние на технический облик и темпы развития космических систем. Западные партнёры предпочитают создавать новые космические системы на основе типовых гибридных узлов, т.н. системы в корпусе (СвК). Выбор кристаллов для них осуществляется по технологии Known to Good – выбираются заведомо хорошие кристаллы, прошедшие квалификационные испытания на производстве с нормами проектирования 0,25...0,5 мкм и имеющие срок хранения до 40 лет.

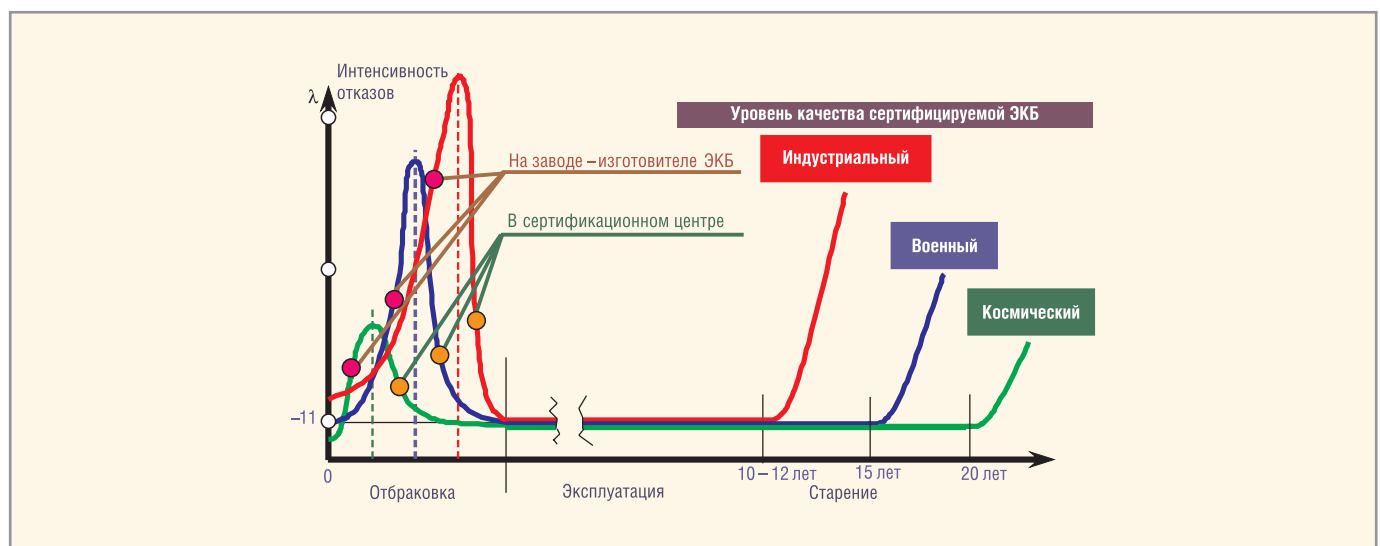
СвК – это новое поколение многокристалльных гибридных узлов. Основой СвК для космических систем является интеграция функций кристаллов ИС цифровой, аналоговой и

радиочастотной техники, активных и пассивных элементов, а также программного продукта на уровне системных достижений космического приборостроения (рисунок). Этим достигается резкое увеличение функциональных возможностей в единице объёма и массы при минимальном потреблении энергии. Кроме того, происходит уменьшение себестоимости проектов и сроков реализации за счёт сокращения циклов проектирования и квалификационных испытаний. Создаются интегрированные аналого-цифровые системы с новыми качественными показателями. Основой для применения перспективных кремниевых пластин в СвК могут стать достижения отечественных фирм НИИСИ РАН, НИИ им. Седакова (г. Нижний Новгород). Указанной зарубежной тех-

нологией владеет концерн «Аэрофлэкс» и его дистрибьютор в РФ ОАО «Космос-Комплект».

СвК – это реальный путь инновационного применения достижений современной микроэлектроники для создания наноспутников. Радиационная стойкость новых космических систем не может быть обеспечена классическими пассивными методами (экранирование и защита с помощью титановых и алюминиевых пластин) – слишком мала активная масса спутника, чтобы защита превосходила её в несколько раз. Поэтому радиационная стойкость обеспечивается специальным подбором полупроводниковых пластин, это, в том числе, и кремний на изоляторе (КНИ), и кремний на сапфире (КНС).

Вторым эшелонем радиационной защиты является корпус для СвК – керамический или металлокерамический, типа изготавливаемого фирмой «Киосера» (Япония). Авторами во взаимодействии с отечественными специалистами проработан комплекс вопросов по физической архитектуре систем в корпусе, системным требованиям к ним, специфике проектирования для космических объектов, вклю-



Качество ЭКБ космических систем

чая наноспутники, по сборке СвК, их надёжности и радиационной стойкости, эффективности и тестированию систем в корпусе. В данной статье обсуждается выбор некорпусированных кристаллов.

Применение СвК в ряде стратегических направлений, как, например, космическая и военная промышленность, определяется следующими факторами [1]:

- необходимостью интеграции цифровых, аналоговых и СВЧ-подсистем с МЭМС-модулями и тонко-/толстоплёночными схемами с целью получения максимальной функциональности в единице объёма;
- требованиями к уменьшению габаритов изделий и снижению их веса;
- тенденцией реализовать тестопригодные системы ещё на уровне разработки проекта за счёт соответствующего применения функциональной декомпозиции по всем уровням системной иерархии и использования унифицированных и апробированных технических решений;
- необходимостью повышения технологичности и надёжности выпускаемых изделий;

- требованиями к существенному снижению расходов на разработку, испытания и производство электронных микросистем.

Важнейшее значение при разработке и реализации СвК имеет выбор KGD, а также технология их установки в СвК [2]. Впервые монтаж полупроводниковых бескорпусных элементов (bare die – кристаллов) совместно с другими компонентами на общей подложке был выполнен в 1960 г. Эта технология оставалась на исследовательском и экспериментальном уровне вплоть до середины 1990-х, когда с появлением новых подходов к корпусированию промышленность приступила к созданию микросистем в корпусе.

Сегодня в перечень микроэлектронных изделий, которые поставляются потребителям, входят следующие типы квалифицированных кристаллов [3]:

- бескорпусной кристалл с алюминиевыми или золотыми контактными площадками (сигнальные и питания), готовый к разварке (bondable die);
- бескорпусной кристалл, распаянный на подложке (или микроплате), COB (chip-on-board);

- полупроводниковые пластины (wafer level packaged die) с механической защитой поверхности кристаллов, со встроенными межсоединениями между портами ввода/вывода и площадками питания либо с возможностями модификации этих соединений.

Целью настоящей статьи является обзор основных вопросов, связанных с применением KGD в СвК для нужд космической и военной промышленности:

- производители, приобретение и особенности KGD;
- вопросы стандартизации KGD;
- вопросы технологий сборки и тестирования KGD.

### Производители, приобретение и особенности KGD

Ввиду недостаточной информации и опыта приобретения KGD отечественного производства, в статье обсуждается практика NASA и МО США. В США KGD предлагают фирмы AMI Semiconductor, Aeroflex, Avago Technology, Infineon Technology, NXP, Intel, Freescale, IBM, LSI Logic, Samsung

**ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ  
ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

**Компания ПРОСОФТ гарантирует:**

- Оптимальный подбор элементной базы
- Высокое качество продукции
- Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- Оказание технической и информационной поддержки



SHARP



Switchcraft

austriamicrosystems

BBULGIN



CREE



Cvilux Group



**PROSOFT®**

Тел.: (495) 232-25-22  
E-mail: info@prochip.ru  
Web: www.prochip.ru

Electronics, Texas Instruments, Analog Devices, Linear Technology, AMD, Catalyst, National Semiconductor, Maxim, Signal Process и др. Проблемы приобретения связаны с тем, что, во-первых, большинство предлагаемых KGD не соответствуют квалификациям QML Q/V и, во-вторых, связь с производителями достаточно сложная по ряду причин.

Следует отметить, что в 1995 г. для нужд ВПК США была создана ассоциация производителей KGD под названием Die Product Consortium (DPC), в которую входит большинство указанных выше производителей. До 1995 г. вся KGD-инфраструктура была связана только с программой DARPA MO США. В 1999 г. появилась программа DPC по расширению рынка многокристалльных сборок, а с 2000 г. DPC превратилась в орган стандартизации в области KGD. «Дорожная карта» DPC построена на двухгодичных циклах. В ней отдельное место занимает практическое развитие технологии СвК. Для этого в консорциуме создана SiP Project Team (Группа по развитию СвК). В задачи группы входит методологическое и технологическое развитие СвК, обмен информацией между членами консорциума, работа с партнёрами вне консорциума в области технологии, рынка и др.

Первым шагом до приобретения KGD является выбор потенциального производителя, который проводится либо по методике Jet Propulsion Laboratory – Electronic Parts Engineering Office (для NASA), либо по методике MO США MIL-STD 1388-1A Logistic Support Analysis и IEC 62258 Semiconductor Die Products: Requirements for Procurements and Use. Выбор сводится к следующим основным процедурам:

- первоначальный выбор производителя на базе информации о коммуникативности, технологичности, цене изделия и др.;
- определение изделия в продуктовой линейке производителя;
- ознакомление с технологическими особенностями производства пластин, из которых или на которых поставляется изделие;
- ознакомление с особенностями разработки изделия;
- анализ параметров системы качества, действующей на предприятии;
- анализ системы обеспечения надёжности изделия;
- анализ тестовой среды и технологии испытаний изделия;

● анализ системы отбраковки.

В ассортименте предлагаемых на рынке кристаллов KGD самый большой класс составляют т.н. кристаллы на подложке, или COB (chip-on-board). Это бескорпусные кристаллы, которые распаяны (проводами или BGA) на подложке для межсоединений. Они отличаются следующими характеристиками:

- кристалл установлен на подложке (или на микроплате);
- кристалл приклеен к подложке при помощи токопроводящей или изоляционной эпоксидной пасты с соответствующим составом;
- кристалл электрически присоединяется к подложке разваркой траверов;
- кристалл капсулирован защитным покрытием.

В связи с этим процесс сборки COB достаточно простой и включает три основных этапа – закрепление кристалла на подложке, разварка электрических проводов и капсулирование. Следует отметить, что разработка COB является критичной как к области применения кристалла, так и к компонентам поверхностного монтажа, которые требуется установить на той же подложке.

### ВОПРОСЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

В 1993 г. программа MO США DARPA (Defense Advanced Project Agency) начала разработку первого стандарта по приобретению и распространению KGD-изделий, который теперь является индустриальным стандартом JESD 49 Procurement Standard for Known Good Die (KGD). К настоящему моменту список KGD-стандартов дополнен материалами:

- J-STD-12 (Implementation of Flip Chip and Chip Scale technology);
- J-STD-26 (Semiconductor Design Standard for Flip Chip Applications);
- J-STD-28 (Performance Standard for Construction of Flip Chip Scale Bumps);
- EDR-4703 (Quality assurance guidelines for bare die including KGD);
- ES 59008 (Data requirements for semiconductor die);
- IEC 62258 (Semiconductor Die Products: Requirements for Procurements and Use).

Все эти стандарты требуют детального ознакомления, но необходимо обратить внимание на два из них в связи с небольшим опытом в области

СвК и KGD в отечественных разработках. Стандарт ES 59008 Data requirements for semiconductor die определяет, какие данные о KGD должен предоставлять производитель потребителю для принятия решения о применении выбранного KGD, а именно:

- данные по идентификации продукта и прослеживанию истории его создания;
- технические характеристики продукта;
- конструктивные параметры кристалла;
- данные по тестированию, качеству и надёжности кристалла;
- требования к условиям работы с кристаллом, его хранению и установке в сборках;
- термодинамические и электрические характеристики кристалла в различных режимах его эксплуатации и в различной окружающей среде в соответствии с техническими условиями его применения.

Стандарт IEC 62258 Semiconductor Die Products: Requirements for Procurements and Use определяет вопросы поставки и применения KGD-изделий следующих типов: пластины, кристаллы, готовые к разварке, кристаллы и пластины с подсистемой межсоединений и частично капсулированные кристаллы. Стандарт также определяет минимальные требования к:

- данным, сопутствующим поставляемым KGD;
- условиям и процедурам работы, хранения и транспортировки KGD.

### ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ KGD

Кристаллы, применяемые в СвК, могут быть расположены как в планарном монтаже, так и в 3D-сборках на общей подложке. При этом высота таких сборок является весьма критичным параметром конструкции СвК. При стыковке до 8 – 10 кристаллов современная технология позволяет выполнить сборку высотой порядка 1,2 мм, но требования миниатюризации уже ограничивают высоту сборки до 0,8...1 мм. Это, в свою очередь, ставит ряд ограничений на размеры шариков пайки и петель электропроводов для распайки, на толщину подложки и капсулирующего покрытия.

Все кристаллы производятся на пластинах толщиной около  $350 \times 10^{-6}$  мм. Чтобы реализовать сборку из восьми

кристаллов, пластина изначально утончается до  $50 \times 10^{-6}$  мм. Для этого применяются несколько методов – механическое полирование, химико-механическое полирование, мокрое или сухое травление и плазменная обработка. После такой обработки механическая прочность пластины (и кристалла в частности) сильно уменьшается, и при дальнейшей обработке весьма вероятно появление трещин и зон с внутренними напряжениями. По этой причине тестирование и отбраковка после утончения пластин обязательны для производственных процессов с применением KGD.

В 3D-компоновках кристаллы могут быть разного размера. Поэтому применяется непосредственная пирамидальная стыковка (при кристаллах разного размера) или стыковка с прокладками (interposer) при кристаллах одного размера. Точность стыковки ухудшается из-за разных коэффициентов адгезии отдельных кристаллов.

Разварка электрических соединений для KGD также отличается существенными ограничениями. Так, например,

стандартный изгиб разварки имеет высоту  $(150...170) \times 10^{-6}$  мм, а в случае KGD этот размер меньше  $100 \times 10^{-6}$  мм.

Технология сборки KGD, хотя и достаточно точно определена, требует внимательной проработки в каждом отдельном случае и является всегда проблемно ориентированной.

Тестирование KGD является частью общего тестирования СвК-изделий, что определяет ряд особенностей при создании тестового подхода [4]. Если тестирование и отбраковка прошли успешно на уровне пластины и/или кристалла на фабрике производителя и соответствующие данные испытаний переданы потребителю, то тестовая технология для собираемого на базе KGD изделия должна использовать эти данные, а конструкция СвК должна быть тестопригодной с учётом её функционально независимых блоков (KGD).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение KGD-кристаллов в СвК – эффективный путь к инновационным разработкам в микроэлектронике. Технология KGD используется повсеместно в военных и космических техноло-

гиях. Многие мировые производители предлагают KGD-продукты. Требования к ним, а также к условиям их приобретения, работе с ними, условиям их хранения и транспортировки стандартизованы в США и Европе. Технология применения KGD в СвК изделиях достаточно хорошо апробирована, и ведущими производителями накоплен уже 15-летний опыт.

Несмотря на достаточно хорошую обусловленность задачи применения квалифицированных кристаллов в СвК, от потенциального потребителя требуется достаточный опыт и необходимый уровень взаимодействия с производителями KGD и СвК.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Tummala R.* Fundamentals of Microsystems Packaging, Georgia Inst. of Technology, Atlanta, 1999.
2. *Smith L., Tessier T.* Stacked Chip-Scale Packages: They are Not Just for Cell Phones Anymore! Chip Scale Review. July, 20001.
3. *Bublmann P., Truncellito D.* The back-end process. Advanced Packaging. March, 2003.
4. *Williams T., Brown N.* Defect Level as a Function of Fault Coverage. Preprint, MIT, 2002. ☺

## Новости мира News of the World Новости мира

### Антенны с метаматериалом в 50 раз меньше длины волны

Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) совместно с Университетом Аризоны (University of Arizona) и исследовательским подразделением корпорации Boeing (Boeing Research & Technology) разработал и протестировал экспериментальные антенны, которые значительно меньше стандартных, но обладают такими же характеристиками. Сферой их использования должны стать миниатюрные беспроводные устройства, такие как приборы для экстренной связи, микросенсоры и портативные радары для поиска пещер. В конструкции применены метаматериалы – структуры со свойствами, которые не встречаются в природных условиях. Новые антенны излучают до 95% входящего сигнала. Если стандартная антенна должна достигать хотя бы половины длины волны для эффективной работы (например, при частоте 300 МГц необходимая длина будет 0,5 м), то экспериментальная может быть в 50 раз меньше, и это не предел.

В последнем прототипе инженеры использовали напечатанную на медной квадратной площадке проволочную антенну, длина стороны составила менее 65 мм. На обратной поверхности площадки находится выступаю-

щий в роли метаматериала «Z-элемент» – полоска из меди с индуктором в центре. Как объясняет Кристофер Холлоуэй (Christopher Holloway) из NIST, назначение антенны – «запуск энергии в открытое пространство», но проблема с миниатюрными по сравнению с длиной волны устройствами в том, что большая часть сигнала отражается обратно к источнику. Метаматериал заставляет антенну действовать так, будто она намного крупнее. Конструкция с индуктором хранит энергию и переизлучает её. В обычных антеннах подобный эффект может быть достигнут путём добавления больших согласующих компонентов. Кроме того, новая разработка может быть настроена на любую частоту на лету.

*physorg.com*

### Оптическая «оперативка» как способ снизить энергопотребление ИС

Бельгийские исследователи из компании IMEC, подразделения Университета Гента (Ghent University), предложили интересную возможность для снижения потребляемой мощности микросхем оперативной памяти, – ими опубликован доклад с предложением разместить на обычном кремниевом кристалле микросхему оптической оперативной памяти. Ноу-хау планируется применять в оп-

тических телекоммуникационных системах – в этом случае отсутствует необходимость в конвертации оптического сигнала в электрический и обратно, за счёт чего и осуществляется снижение потребляемой интегральными микросхемами мощности.

По проекту бельгийских разработчиков, оптическая оперативная память будет изготавливаться из индий-фосфидных лазеров, имеющих дисковую форму и диаметр всего 7,5 мкм. Лазерное излучение в этом случае будет распространяться в двух взаимно противоположных направлениях, а переключение между двумя режимами работы лазера осуществляется при помощи коротких импульсов оптического излучения.

Интересной особенностью оптической памяти с произвольным доступом является использование кремниевых волноводов, которые соединяют в единую систему различные ячейки памяти. Это позволяет изготавливать интегральные микросхемы с применением известных технологий, оперирующих с кристаллами кремния, что снижает себестоимость готовой продукции. Но насколько существенной окажется экономия электроэнергии – пока неизвестно, остаётся под вопросом и себестоимость оптической памяти, и готовность технологии к серийному производству.

*EE Times*

# Высокочастотные преобразователи для питания линий связи большой протяжённости

Владислав Пржегорлинский, Сергей Сергеев,  
Дмитрий Богословский (Московская обл.)

В настоящее время всё более интенсивно идёт развитие различных систем передачи информации с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) протяжённостью до десятков тысяч километров. В статье рассмотрены вопросы построения высоковольтных источников питания аппаратуры волоконно-оптических линий связи большой протяжённости.

Питание волоконно-оптических линий связи большой протяжённости осуществляется по встроенным в магистральный кабель (МК) медным жилам. Оптимальным является такое построение питания необслуживаемых регенераторов, когда первичные узлы их преобразователей, питающих электронную аппаратуру, включены последовательно в питающую цепь магистрального кабеля. При этом мощность, потребляемая конкретным регенератором, равна:

$$P_{\text{рег}} = \Delta U \times I,$$

где:  $\Delta U$  – падение напряжения первичного узла преобразователя питания регенератора,  $I$  – ток, протекающий в цепи питания ВОЛС.

Общая мощность, необходимая для питания волоконно-оптической линии связи, складывается из суммарной мощности, потребляемой регенераторами, расположенными на магистрали, и мощности потерь, пропорциональной току в линии и сопротивлению медных жил МК.

Общая мощность в некоторых случаях может достигать нескольких десятков киловатт. Для удешевления МК разработчики стремятся использовать кабель с минимально возможным сечением токопроводящих жил.

Не вдаваясь в общеизвестные выкладки, можно показать, что для снижения потерь мощности возникает необходимость повышения напряжения на входных клеммах питания ВОЛС, а требуемое напряжение может достигать 8...10 кВ. Для упрощения структуры преобразователей регенераторов, обычно ток в линии питания стабилизируется по величине.

Для обеспечения нормального функционирования ИП в различных режи-

мах работы ВОЛС, а также при изменении её протяжённости, ИП должен иметь широкий задаваемый диапазон стабилизации как тока, так и напряжения.

Необходимость стабилизации тока возникает ещё и для того, чтобы снизить ударные нагрузки на аппаратуру как оконечных станций, так и регенераторов, возникающие при аварийных режимах (коротких замыканиях). Для уменьшения вероятности пробоя изоляции и выхода из строя аппаратуры ВОЛС, магистральный источник питания должен ограничивать выходное напряжение до максимальной расчётной величины при возникновении любых аварийных режимов.

Необходимым требованием к аппаратуре питания ВОЛС также является обеспечение пониженных пульсаций выходного напряжения, особенно в диапазоне частот свыше 10 кГц, для уменьшения вероятности появления сбоев в цифровой аппаратуре ВОЛС, а также для снижения излучения МК.

Таким образом, к источнику питания ВОЛС большой протяжённости предъявляются следующие требования:

- он должен иметь прямоугольную характеристику регулирования выходных параметров, т.е. должен стабилизировать и ток, и напряжение, причём заданные значения выходных параметров должны иметь широкий диапазон – практически от 0 до максимальных значений;
- ИП должен иметь низкие пульсации выходного напряжения;
- ИП должен быть построен таким образом, чтобы иметь возможность увеличивать выходное напряжение путём последовательного соединения двух и более модулей питания (МП), т.е. выходы МП должны иметь

гальваническую развязку выход-корпус, позволяющую поднимать общее выходное напряжение до 10 кВ;

- ИП должен иметь защиту от КЗ и обрывов в цепи нагрузки;
- ИП должен иметь КПД не менее 90%;
- ИП должен иметь высокую надёжность, т.е. функционировать в течение 10...20 лет без ремонта.

## Оптимальное построение МП

Требования, предъявляемые к ИП ВОЛС, имеют свои особенности, поэтому при их проектировании надо учесть следующие обстоятельства.

Существуют три основные схемы преобразователя напряжения: классический ШИМ с жёстким переключением, квазирезонансный с фазовым управлением и резонансный с частотным регулированием [1].

Классический ШИМ-преобразователь является наиболее простым, но и наименее эффективным [2], потому что транзисторы переключаются в жёстком режиме. Поскольку элементы схемы всегда имеют паразитные параметры (индуктивность рассеивания трансформатора и монтажа, выходная ёмкость транзисторов и т.п.), импульсы сопровождаются выбросами напряжения, что требует установки гасящих (снабберных) цепей и приводит к дополнительным потерям энергии.

Использование схемотехники квазирезонансного (ШИМ-ZVS) или резонансного переключения направлено на уменьшение потерь преобразования. Оно достигается за счёт того, что момент коммутации ключевого транзистора в ШИМ-ZVS-инверторе наступает при нулевом напряжении, а в резонансном – при нулевом токе или напряжении (в зависимости от того, какой применён резонансный контур – последовательный или параллельный). Принципиальное отличие состоит в том, что в квазирезонансном контуре, в отличие от резонансного, контур, формирующий траекторию переключения транзисторов, напрямую не участвует в процессе передачи энергии в нагрузку.

Квазирезонансный преобразователь, начиная с некоторого минималь-

ного значения тока нагрузки, переходит в режим жёсткого переключения, и его КПД резко снижается. В резонансном преобразователе режим «мягкого» переключения сохраняется даже на холостом ходу, но при уменьшении нагрузки также имеет место снижение его КПД.

По величине потерь оба варианта почти эквивалентны. Однако, по надёжности, управляемости, простоте реализации и уровню электромагнитных помех резонансный преобразователь оказывается значительно эффективнее, чем ШИМ-ZVS.

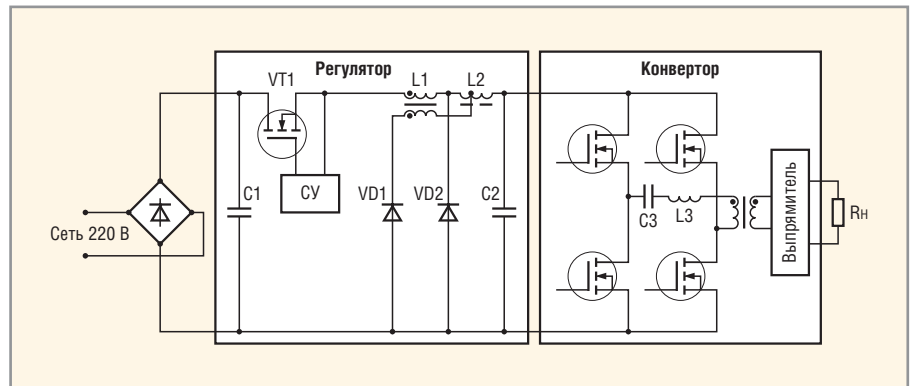
Оба метода позволяют снизить потери в ключах по сравнению с традиционным ШИМ почти на порядок. Для реализации рассмотренных преобразователей производятся стандартные контроллеры, обеспечивающие все необходимые функции управления.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод о том, что основные типы ИВЭП имеют свои недостатки, которые делают нежелательным их использование в преобразователях, применяемых в ИП ВОЛС.

Одним из вариантов построения ИП, удовлетворяющего поставленным требованиям, является ИВЭП, функциональная схема которого показана на рисунке.

Отличительной особенностью ИВЭП, показанного на рисунке, является сочетание DC/DC-ШИМ-регулятора и резонансного конвертора. ШИМ-регулятор построен по схеме, в которой резко снижены коммутационные потери при включении транзистора VT1 за счёт задержки времени нарастания тока после включения транзистора [3]. Если в качестве диодов VD1 и VD2 используются SiC-диоды Шоттки, то потери дополнительно снижаются, т.к. эти диоды имеют почти нулевое время восстановления закрытого состояния при низкой паразитной ёмкости [4]. Нагрузкой ШИМ-регулятора является конвертор, включающий в себя резонансный преобразователь.

Главной особенностью предлагаемого ИВЭП является возможность его работы в широком диапазоне регулирования тока и напряжения нагрузки. Резонансный преобразователь работает на одной частоте последовательного резонансного контура L3C3 и синхронизирован с ШИМ-регулятором. Применение резонансного преобразователя во второй ступени регулирования, наряду со снижением



Функциональная схема ИВЭП

паразитных потерь и высокочастотных помех, позволяет снизить требования к индуктивности рассеяния выходного трансформатора и даёт возможность увеличить толщину изоляции между первичной и вторичной обмотками. Увеличение толщины изоляции необходимо для выполнения требования обеспечения высоковольтной гальванической развязки между выходными клеммами и корпусом ИВЭП.

При установке на выходе выпрямителя ИВЭП дополнительного фильтра имеется возможность снижения высокочастотных пульсаций выходного напряжения до нескольких милливольт при выходном напряжении порядка 1000...1500 В.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ СП-2000

В соответствии с приведёнными выше соображениями был разработан

источник питания СП-2000 с характеристиками:

- максимальная выходная мощность 2000 Вт;
- стабилизация напряжения 100...1500 В или тока 0,1...1,4 А;
- частота преобразования – 100 кГц;
- управление – с лицевой панели и дистанционно по линии RS-232, RS-422 или RS-485;
- КПД – 93%;
- уровень пульсаций менее 0,1% от  $U_{\text{вых}}$ ;
- диапазон рабочих температур –40...70°C;
- габариты (Ш × В × Г) – 153 × 337 × 442 мм;
- питание от трёхфазной сети 220/380 В.

С использованием СП-2000 разработаны приборы SVM-1204 и SVM-1608, построенные на базе стойки фирмы RITTAL (Германия), высотой соответственно 1200 мм и 1600 мм. ©

Продолжение следует

## СП-2000

### Высоковольтный источник питания

Питание оборудования линий связи, промышленного оборудования.

- Выходная мощность — до 2 кВт
- Стабилизация выходного напряжения — от 100 до 1500 В, тока — от 0,1 до 1,4 А
- Гальваническая развязка выход-корпус — 10 кВ

Компания ЗАО «СЕНСОР» разрабатывает и изготавливает:  
- высоковольтные источники питания мощностью – до 20 кВт,  
- системы охраны объектов на суше и в прибрежной акватории моря.  
г. Дубна, Моск. обл., pvladex@mail.ru, моб. тел.: 926-359-1253

ФГУП НИИ «АТОЛЛ» разрабатывает и изготавливает  
системы охраны объектов в акватории океана.  
г. Дубна, Моск. обл., ул. Приборостроителей 5, http://atoll.su

Реклама

# Особенности и параметры интеллектуальных силовых модулей фирм Fuji и Semikron

**Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)**

**В статье рассмотрены особенности устройства и функционирования интеллектуальных силовых модулей двух ведущих производителей компонентов силовой электроники. Приведены характеристики новых приборов фирм Fuji и Semikron.**

В последнее время многие производители бытовой техники и промышленного оборудования в качестве конкурентного преимущества своих изделий указывают наличие в их составе IPM-блока. Применение термина IPM (Intelligent Power Module, интеллектуальный силовой модуль) – скорее рекламный ход производителей, поскольку «интеллектуальность» бытовой техники или промышленных агрегатов воспринимается покупателями как достоинство приобретаемого оборудования.

В действительности агрегаты с инверторами на широко распространённых силовых IGBT-модулях не более «интеллектуальны», чем IPM. Суть их идеологии состоит в следующем. Практически в любом устройстве с IGBT-модулями присутствуют различные узлы защиты от чрезмерных токов, перегрева и выхода напряжения за пределы рабочего диапазона. Узлы защиты, схемы управления, сами IGBT и антипараллельные диоды в модулях IPM выполнены в едином технологическом процессе в виде интегральной или гибридной микросхемы. Такие модули потенциально более надёжны, чем IGBT-модули с внешними узлами, сформированными на печатной плате из дискретных компонентов. Кроме того, в IPM входят цепи преобразования уровней, позволяющие управлять IGBT с помощью низковольтных элементов, например оптронов.

Применение IPM позволило улучшить и ремонтпригодность аппаратуры, в которой они установлены. В ряде приложений, в частности, в системах кондиционирования воздуха, автоматических стиральных машинах, холодильных установках, электронных блоки (ЭБ) реализованы на отдельных печатных платах. Большинство изготовителей такой техники не предоставляют сервисным организациям подробную техническую

документацию ЭБ. При возникновении неисправностей в таких «чёрных ящиках» сервисные руководства рекомендуют заменять их целиком, что увеличивает стоимость и сроки ремонта агрегатов. При неисправностях IPM обычно требуется замена небольшой периферийной платы, на которой установлен силовой модуль, а заменять более дорогостоящую плату ЭБ нет необходимости [1]. Интегральное исполнение IPM позволяет увеличить общее быстродействие ЭБ и частоту управляющих ШИМ-сигналов, что даёт возможность повысить КПД оборудования и снизить уровень излучаемых помех.

Основной и весьма обширной областью применения интеллектуальных силовых модулей (далее ИСМ) является электропривод трёхфазных двигателей переменного тока в системах VFD (Variable Frequency drive) – частотно регулируемый привод (ЧРП). Промышленные приложения ЧРП: вентиляторы, механизмы подачи топлива, центрифуги, насосы, компрессоры и т.д. Основные бытовые и офисные приложения: системы кондиционирования воздуха, стиральные машины и холодильники.

При использовании ЧРП удаётся снизить потребление электроэнергии на 20...50%, кроме того, такое построение электропривода имеет ряд других достоинств. В частности, использование насосов с ЧРП позволяет увеличить межремонтные циклы, уменьшить численность обслуживающего персонала и вероятность разрыва трубопроводов, т.к. при плавном пуске двигателей насосов исключаются гидравлические удары в системах, а регулирование скорости вращения предотвращает избыточное давление в трубопроводах [2].

В основном ИСМ в интегральном или гибридном исполнении используются для привода двигателей малой и сред-

ней мощности, а некоторые из них – и приводов большой мощности. Модули выпускает ряд известных производителей силовых полупроводниковых приборов. В каталогах 2009 г. более десяти наименований ИСМ предлагают фирмы Cyntec, Fuji Electric, Infineon, IRF, Mitsubishi Electric, Powerex, Sanken, Semikron и некоторые другие.

Подразделение компании Fuji Electric Semiconductors выпускает силовые компоненты в следующих категориях: силовые IGBT-приборы, микросхемы управления для источников питания, силовые MOSFET, выпрямительные диоды, силовые компоненты для автомобильных приложений. В категории силовых IGBT-приборов в каталоге фирмы (по состоянию на июль 2009 г.) предлагается несколько десятков типов ИСМ (IGBT Modules IPM) серий U-IPM, Econo IPM, R-IPM и R-IPM3 [4].

Модули серии R выпускаются с 2003 г.; по состоянию на лето 2009 г. в каталоге фирмы представлено 40 наименований ИСМ модулей этой серии, рассчитанных на токи 15...300 А, их отличительной особенностью является применение только полупроводниковой технологии. Приборы состоят из кристаллов кремния, в объёме которого сформированы IGBT и полупроводниковые микросхемы, предназначенные для управления силовой частью модулей. Это позволило уменьшить число элементов и увеличить быстродействие схем управления. Для ИСМ серии R требуется четыре источника питания – один для нижних плеч инверторов и три независимых для верхних. В модули встроены схемы защиты от перегрузки по току (OC), от короткого замыкания (SC), от пониженного напряжения источников питания (UV) и от перегрева (OH); имеется отдельный вывод ALM, сигнализирующий о перегреве выводов модулей. В некоторые модули встроены схемы с «тормозными» IGBT (Brake).

В модулях серии R применён нетрадиционный способ контроля температуры IGBT и схем управления. Обычно контроль температуры кристаллов ИСМ осуществляется с помощью тер-

морезистора, установленного на металлическую подложку вблизи кристаллов IGBT, при этом из-за значительного термического сопротивления между терморезистором и кристаллами IGBT возникает задержка сигнала с терморезистора при резком изменении температуры. В результате возможен выход из строя модулей в некоторых аварийных ситуациях, например при заклинивании двигателя. В модулях серии R терморезистор сформирован на поверхности самого кристалла по технологии SOI (Silicon on insulator – кремний на диэлектрике) [1], что исключает такие ситуации.

Изолированная структура керамической подложки модулей позволяет устанавливать их непосредственно на теплоотвод. Выводы управления находятся на одной линии и могут подключаться через один разъём. Мощные выводы располагаются рядом, что упрощает монтаж. Силовые шины надёжно фиксируются винтами M5.

Модули серии R выпускаются в различных корпусах: P610, P611, P612, P617, P621. Основные (классификационные) данные выпускаемых модулей серий R-IPM, R-IPM3, U-IPM, Econo IPM приведены в таблице 1.

В состав модулей 7MBPxxxxRxxxx входят тормозные IGBT (всего семь силовых транзисторов), в модулях 6MBPxxxxRxxxx установлены шесть транзисторов. Номинальное напряжение питания схем управления 15 В, напряжения срабатывания схем защиты от пониженного напряжения (UV) 11,5...12,5 В, минимальная температура корпуса модулей, при которой срабатывают схемы защиты от перегрева (OH), 110°C.

Фирма подразделяет ИСМ серий R-IPM, R-IPM3 на приборы малой мощности (Small-capacity types) с током коллектора  $I_K = 15...30$  А ( $U_{кв} = 600$  В), 15 А (1200 В); средней мощности (Medium-capacity types) с током коллектора 50...150 А (600 В), 25...75 А (1200 В); большой мощности (Large-capacity types) с током  $I_K = 200...300$  А (600 В), 100...150 А (1200 В). Масса ИСМ средней мощности серии Econo снижена примерно на 40%, а необходимая площадь для монтажа (mounting area) – на 30%.

Упрощённая схема включения модулей типа 7MBPxxxxRxxxx для привода трёхфазных двигателей переменного тока приведена на рисунке 1. В состав схемы входят: верхние IGBT с антипараллельными диодами (FWD) VT<sub>up</sub>,

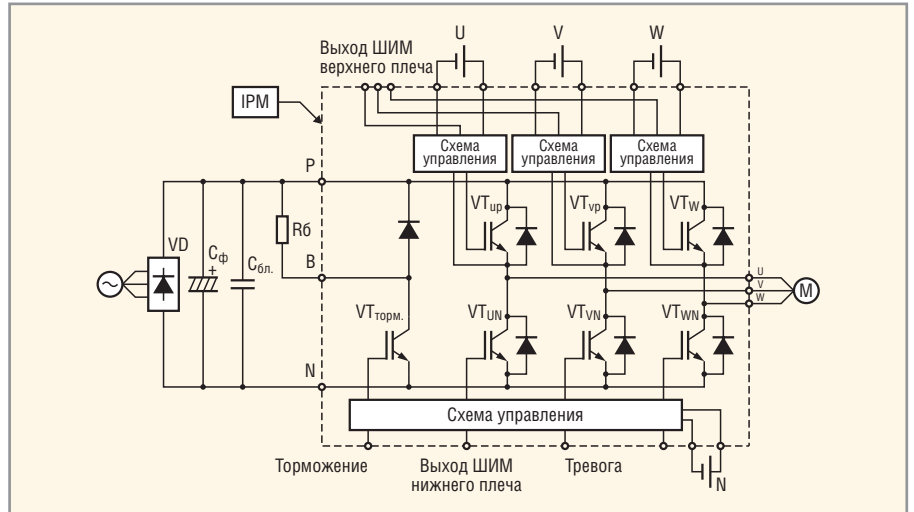


Рис. 1. Схема включения ИСМ 7MBVxxxxxxx фирмы Fuji Electric

VT<sub>vp</sub>, VT<sub>wp</sub>; нижние IGBT VT<sub>un</sub>, VT<sub>vn</sub>, VT<sub>wn</sub>; тормозной IGBT (Chopper) VT<sub>торм.</sub>; схемы управления верхними и нижними IGBT (Pre-Driver); источники питания верхних и нижних драй-

веров U, V, W, N; трёхфазный выпрямитель VD; конденсатор фильтра C<sub>ф</sub>; демпфирующий конденсатор (Snubber) C<sub>бл</sub>; балластный резистор R<sub>б</sub> и двигатель переменного тока M.

Таблица 1. Основные параметры ИСМ фирмы Fuji Electric

Тип модуля	Серия	U <sub>кв</sub> , В	I <sub>к</sub> , А	U <sub>нап</sub> , В	I <sub>ос</sub> , А	Корпус	Масса, г
6MBP15RH060	R	600	15	2,7	21	P617	50
6MBP20RH060	R	600	20	2,7	30	P617	50
6MBP30RH060	R	600	30	2,7	44	P617	50
6MBP50RA060	R	600	50	2,8	75	P610	450
6MBP75RA060	R	600	75	2,8	113	P610	450
6MBP100RA060	R	600	100	2,8	150	P611	450
6MBP150RA060	R	600	150	2,8	225	P611	450
6MBP200RA060	R	600	200	2,8	300	P612	920
6MBP300RA060	R	600	300	2,8	450	P612	920
7MBP50RA060	R	600	50	2,8	75	P610	450
7MBP150RA060	R	600	150	2,8	225	P611	450
7MBP300RA060	R	600	300	2,8	450	P612	920
6MBP15RA120	R	1200	15	2,8	21	P619	85
6MBP50RA120	R	1200	50	2,6	75	P611	450
6MBP150RA120	R	1200	150	2,6	225	P612	920
7MBP25RA120	R	1200	25	2,6	38	P610	50
7MBP100RA120	R	1200	100	2,6	150	P612	920
6MBP50RTJ060	R	600	50	2,5	75	P621	450
6MBP150RTJ060	R	600	150	2,3	150	P621	450
7MBP75RTJ060	R	600	75	2,4	113	P621	450
7MBP100RTJ060	R	600	100	2,3	150	P621	450
6MBP50RJ120	R	1200	50	2,6	75	P621	450
7MBP75RJ120	R	1200	75	2,6	113	P621	450
6MBP20RTA060	R3	600	20	2,2	30	P619	85
6MBP50RTB060	R3	600	50	2,5	75	P610	440
6MBP150RTB060	R3	600	150	2,3	150	P611	450
7MBP75RTB060	R3	600	75	2,4	113	P610	440
7MBP100RTB060	R3	600	100	2,3	150	P611	450
6MBP25RU2A120	U	1200	25	2,2	38	P610	440
6MBP75RU2A120	U	1200	75	2,2	113	P611	450
7MBP50RU2A120	U	1200	50	2,2	75	P611	450
6MBP50TEA060	ECONO	600	50	2,5	75	P622	270
6MBP150TEA060	ECONO	600	150	2,3	225	P622	270
7MBP75TEA060	ECONO	600	75	2,4	113	P622	270
7MBP100TEA060	ECONO	600	100	2,3	150	P622	270
6MBP25TEA120	ECONO	1200	25	3,1	38	P622	270
6MBP75TEA120	ECONO	1200	75	3,1	113	P622	270
7MBP50TEA120	ECONO	1200	50	3,1	75	P622	270

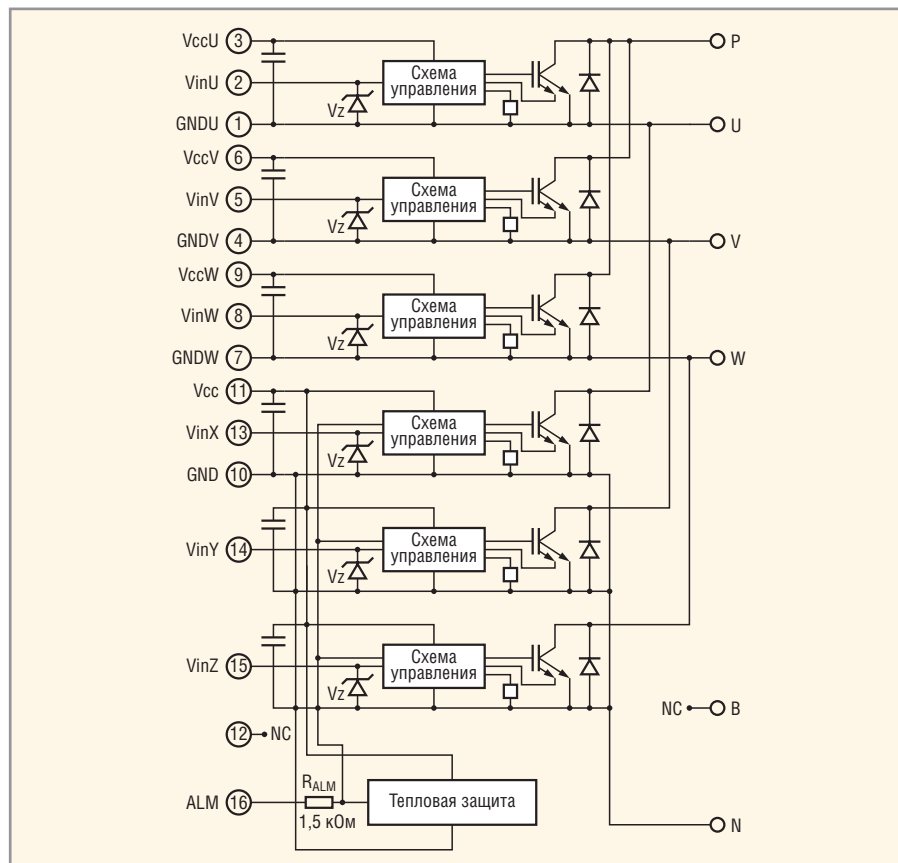


Рис. 2. Структура ИСМ 6МВхххххххх фирмы Fuji Electric

На верхние и нижние драйверы подаются трёхфазные управляющие ШИМ-сигналы. Скорость вращения двигателя определяется частотой модуляции, вращающий момент – её глубиной, а направление вращения – фазовыми соотношениями ШИМ-сигналов каналов U, V, W. Тормозной прерыватель включается сигналом Brake input, сигнал «тревоги», сигнализирующий о перегреве выводов модулей, снимается с вывода Alarm output.

Функциональное назначение и нумерация выводов модулей определяется типами корпусов и структурой конкретных модулей, однако аббревиатуры, обозначающие назначение выводов, в основном, одинаковы для всех ИСМ фирмы Fuji Electric.

Рассмотрим особенности наиболее мощных модулей серии R – 6MBP300RA060 и 7MBP300RA060; структура и нумерация выводов модуля с шестью IGBT приведены на рисунке 2; назначения выводов модуля:

- P, N – положительный и отрицательный терминалы силового источника питания;
- U, V, W – выходные терминалы инверторов;
- GNDU, GNDV, GNDW – корпусные шины верхних драйверов;
- GND – силовой корпус;

- Vin U, Vin V, Vin W – входы управления верхних драйверов;
- Vcc U, Vcc V, Vcc W – напряжения питания верхних драйверов;
- Vcc – напряжение питания нижнего драйвера;
- Vin X, Vin, Y, Vin Z – входы управления нижних драйверов;
- ALM – выход сигнала «тревоги» от схемы защиты ОН.

В модуль 7MBP300RA060 встроен дополнительный IGBT, осуществляющий функцию тормозного прерывателя, и задействованы дополнительные выводы: B – вывод коллектора тормозного IGBT; Vin DB – вывод затвора тормозного IGBT. Основные параметры модулей:

- максимальное постоянное напряжение на выводе P 400 В;
- максимальный постоянный ток коллектора 300 А (600 А при  $T_{\text{имп}} = 1 \text{ мс}$ );
- максимальная мощность рассеяния 1040 Вт;
- температура корпуса  $-20 \dots 100^\circ\text{C}$ ;
- напряжение изоляции 2500 В;
- напряжение насыщения коллектор–эмиттер 2,8 В (при  $I_K = 300 \text{ А}$ );
- падение напряжения на антипараллельных диодах 3 В (при  $I_K = 300 \text{ А}$ );
- напряжение питания (типичное значение) 15 В, максимальное 20 В;

- входное напряжение (измеряется между выводами 2 и 1; 5 и 4; 8 и 7; 13, 14, 15, 10 и N);
- напряжение стабилизации 8 В (типичное значение);
- температура срабатывания схемы защиты от перегрева ОН  $110 \dots 125^\circ\text{C}$  (измеряется в определённой точке корпуса модулей);
- ток срабатывания схемы защиты от короткого замыкания и перегрузки по току SC, OC, 450 А;
- напряжение срабатывания схемы защиты от низкого напряжения Vcc UV 11...12,5 В;
- частота входных ШИМ-сигналов 1...20 кГц.

Типовая схема включения модулей 6MBPxxxRxxxx (без тормозных IGBT) в корпусах P610, P611, P612 приведена на рисунке 3. Входные ШИМ-сигналы IF подаются через изолирующие оптроны на фототранзисторы, на которые через резисторы 20 кОм подано напряжение Vcc (15 В) от отдельных источников питания Vcc. Включение IGBT происходит при низком уровне напряжения на входах модулей (выводы 2, 5, 8, 13, 14, 15). Сигнал срабатывания схемы температурной защиты снимается с вывода 16 модулей также через оптрон; выводы и B следует соединять с корпусом (вывод N).

На рисунке 4 показаны зависимости тока коллектора IGBT-модулей от напряжения  $U_{KЭ}$  при различных напряжениях питания  $V_{CC}$  и температуре выводов модулей  $T_j = 125^\circ\text{C}$ . При снижении температуры  $U_{KЭ}$  также снижается, например, при  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 15 \text{ В}$  и токе  $I_K = 300 \text{ А}$  напряжение  $U_{KЭ} = 2,3 \text{ В}$ . Параметры переключения модулей характеризуются диаграммами, показанными на рисунке 5. Время включения  $t_{on}$  и выключения  $t_{off}$  зависят от тока коллекторов IGBT незначительно, длительность переднего фронта  $t_f$  выходных импульсов изменяется в пределах 0,2...0,3 мкс при изменении  $I_K$  от 100 до 300 А (зависимости сняты при  $V_{CC} = 15 \text{ В}$ ,  $V_{dc} = 300 \text{ В}$ ,  $t_{выб} = 125^\circ\text{C}$ ).

На рисунке 6 приведена зависимость падения напряжения  $V_f$  на антипараллельных диодах от величины прямого тока  $I_f$  при различных температурах; соответствующие временные диаграммы показаны на рисунке 7. Особенности функционирования схем защиты модулей серий R-IPM, R-IPM3, Econo IPM, их подробные технические и конструктивные характеристики приведены в [5].

Модули серии R широко применяются в бытовых, офисных и промышленных приложениях, например, ИСМ 6MBP50RA120 установлен в наружных блоках кондиционеров «Сити Мульти» УМС-С фирмы Mitsubishi Electric. Модуль обеспечивает привод трёхфазного двигателя переменного тока компрессора системы мощностью 5,5 кВт при напряжении 380 В, 50 Гц (модель PURY-200YMF-C).

Остановимся на некоторых особенностях ИСМ различных серий. В 1997 г. компания Fuji Electric впервые разработала промышленную технологию защиты силовых IGBT от перегрева и выпустила ряд ИСМ серии R. Силовые транзисторы ИСМ этой серии приборов были выполнены по эпитаксиальной технологии РТ (Punch Through). В дальнейшем фирме удалось значительно улучшить характеристики силовых транзисторов путём перехода от эпитаксиальных пластин к пластинам FZ (Floating zone) и применения технологии NPT (Non-punch through). В 2002 г. по этой технологии были выпущены первые модули серии R-IPM3, новые приборы имели более низкие потери энергии при выключении  $P_{off}$ . Дальнейшего снижения потерь фирме удалось добиться путём перехода от планарной структуры кристаллов IGBT Planar РТ/NPT к структуре Trench NPT. Особенности упомянутых технологий обсуждаются в [9].

Для сравнения модулей на рисунке 8 приведены зависимости величины общих потерь (Total loss) от действующего значения тока в нагрузке для сопоставимых по мощности ИСМ серий R-IPM, R-IPM3, U-IPM 600V при частоте ШИМ-сигнала 4 кГц, температуре выводов 125°C, напряжениях питания  $E_d = 300$  В,  $V_{cc} = 15$  В и факторе мощности  $P_f = 0,85$ . На рисунке 9 приведены зависимости тока коллекторов этих модулей от  $U_{кз\ на с}$ . При увеличении частоты ШИМ-сигнала общие потери возрастают и при  $f_{ши м} = 16$  кГц составляют 88,79 Вт (R-IPM), 71,67 Вт (R-IPM3), 63,08 Вт (U-IPM) [6].

В каталоге фирмы 2009 г. модули ИСМ серии U-IPM 600V отсутствуют, а предлагаются высоковольтные приборы U-IPM 1200V, разработанные фирмой в 2006 г. В качестве примера перечислим основные параметры наиболее мощного прибора ИСМ серии U 7MBP75RU2A120 из каталога фирмы 2009 г.:

- максимальное напряжение питания силовой части 900 В;

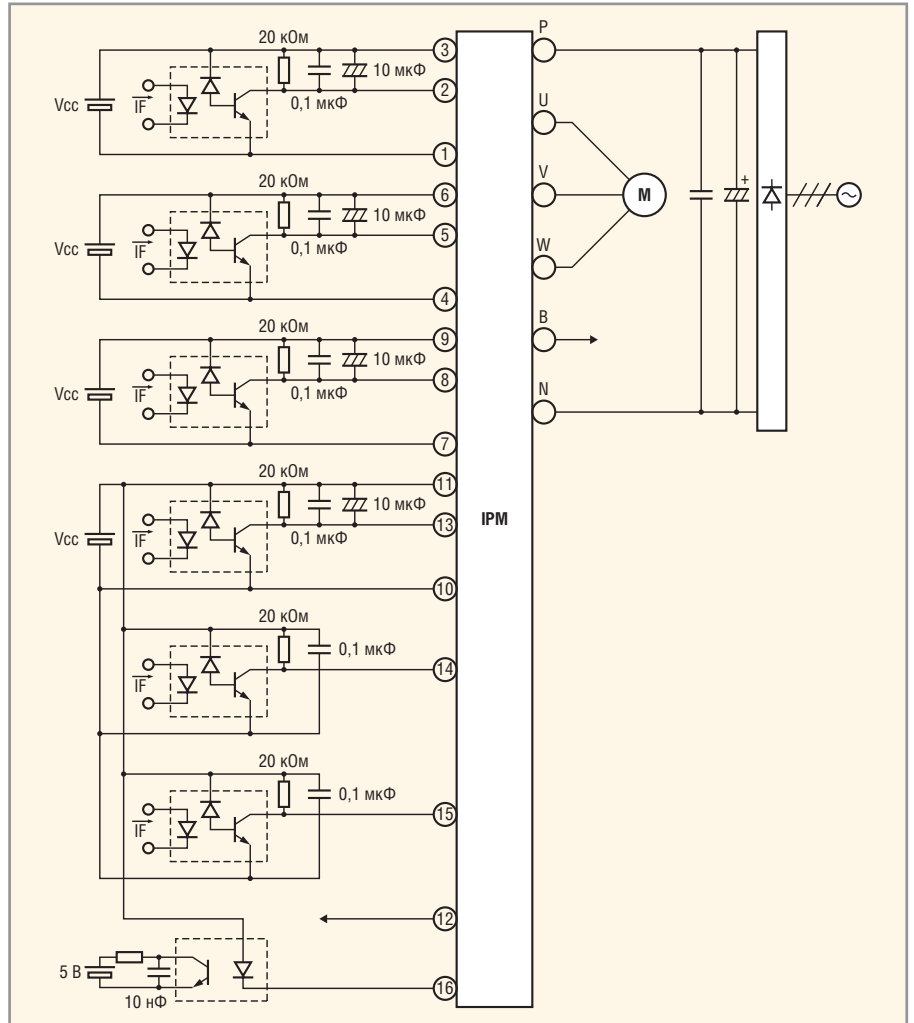


Рис. 3. Схема включения ИСМ 6MBxxxxxxx фирмы Fuji Electric

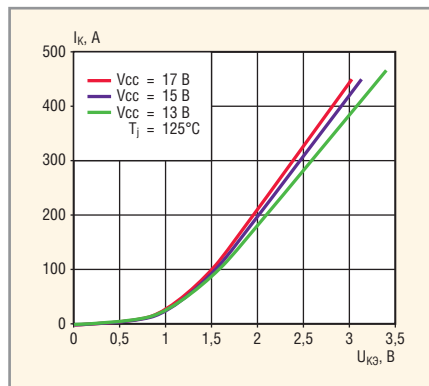


Рис. 4. Зависимость тока коллектора IGBT-модулей от напряжения  $U_{кз}$

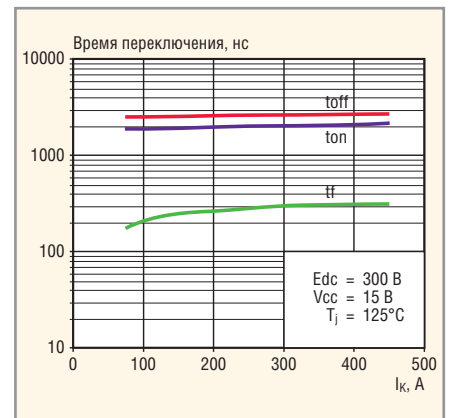


Рис. 5. Параметры переключения ИСМ

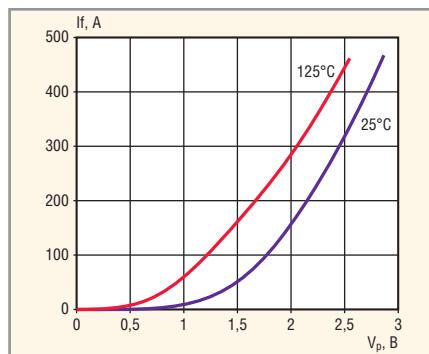


Рис. 6. Зависимость тока коллектора  $I_f$  от напряжения  $V_f$

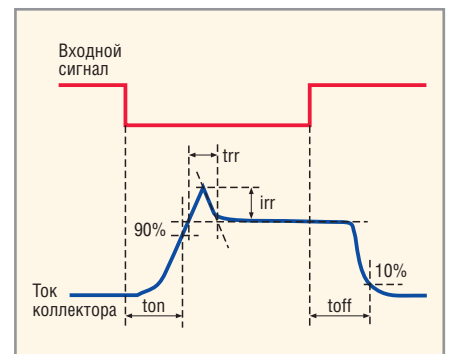


Рис. 7. Временные диаграммы входных и выходных импульсов ИСМ

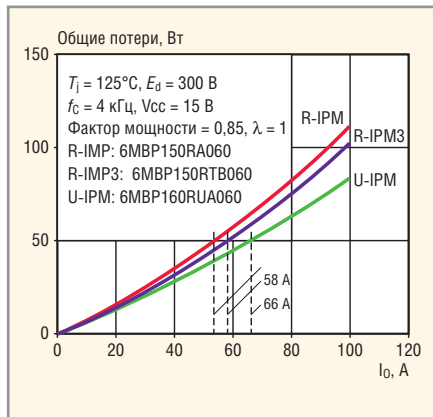


Рис. 8. Зависимость общих потерь от выходного тока для ИСМ серий R-IPM, R-IPM3, U-IPM

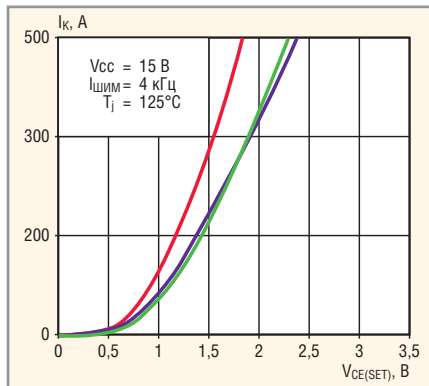


Рис. 9. Зависимость тока коллектора IGBT от напряжения  $U_{кз}$  для ИСМ серий R-IPM, R-IPM3, U-IPM



Рис. 10. Пружинные выводы модулей MiniSKiiP фирмы Semikron

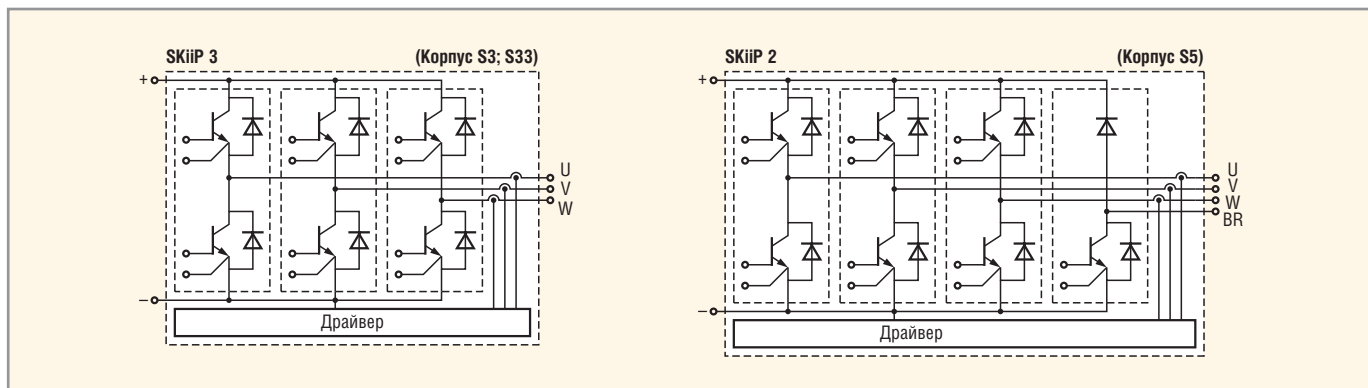


Рис. 11. Структурные схемы ИСМ SKiiP2, SKiiP3

- максимальный импульсный ток коллектора 150 А ( $T_n < 1$  мс);
- максимальная рассеиваемая мощность 403 Вт (на один IGBT);
- максимальный ток тормозного транзистора 50 А;
- максимальный прямой ток антипараллельных диодов 50 А;
- напряжение насыщения всех IGBT 1,9...2,2 В (при  $I_k = 75$  А);

- падение напряжения на антипараллельных диодах 2,1...2,4 В (при  $I_k = 75$  А);
- $t_{on}/t_{off}$  – время включения/выключения (1,2...1,8)/(2,6...3,6) мкс (при  $I_k = 75$  А,  $V_{dc} = 600$  В).

Одним из крупнейших европейских производителей силовых полупроводниковых приборов является фирма Semikron International GmbH (Германия). В ассортименте продукции фир-

мы также имеются интеллектуальные силовые модули, в том числе, приборы серии MiniSKiiP IPM в конфигурации CIB (выпрямитель-инвертор-силовой каскад), впервые показанные на выставке PCIM-2008. В приборах семейства MiniSKiiP реализованы оригинальная технология сборки pressure contact (прижимной контакт) и пружинные выводы, главным преимуществом которых является высокая стойкость к многократным перепадам температур. Это достигается за счёт отсутствия паяных соединений, которые при многократных циклах нагрева/охлаждения растрескиваются. До последнего времени это не позволяло использовать модули в тяжёлых условиях эксплуатации, например в автомобильных приводах. Внешний вид модулей серии MiniSKiiP с пружинными контактами показан на рисунке 10.

В каталог Semikron 2009 г. внесено более 50 типов ИСМ серий SKiiP2, SKiiP3, силовые IGBT в которых выполнены по технологиям SPT, NPT-IGBT, Trench-IGBT, и пять типов ИСМ серии MiniSKiiP [7]. В таблице 2 приведены основные параметры ИСМ с шестью и семью IGBT. Приведённые в таблице максимальные значения тока  $I_k$  соответствуют температуре корпуса модулей 25°C, напряжения насыщения кол-

Таблица 2. Основные параметры ИСМ фирмы Semikron

Наименование	Серия	$U_{кз}, В$	$I_k, А$	$U_{нас}, В$	$I_{макс}$	Корпус	Тип IGBT
132GD120-3DU	SKiiP 2	1200	112	3,1	150	S3	NPT-IGBT (6)
132GD120-4DU	SKiiP 2	1200	112,5	3,1	150	S5	NPT-IGBT (7)
232GD120-3DU	SKiiP 2	1200	150	3,1	200	S3	NPT-EGBT (6)
232GD120-4DU	SKiiP 2	1200	150	3,1	200	S5	NPT-IGBT (7)
292GD170-3DU	SKiiP 3	1200	188	4,3	250	S3	SPT (6)
313GD122-3DUL	SKiiP 3	1200	225	2,5	230	S33	SPT (6)
342GD120-3DU	SKiiP 2	1200	225	3,1	300	S3	NPT-IGBT (6)
342GD120-4DU	SKiiP 2	1200	225	3,1	300	S5	NPT-IGBT (7)
513GD122-3DUL	SKiiP 3	1200	357	2,5	500	S33	SPT (6)
513GD172-3DUL	SKiiP 3	1700	375	2,2	400	S33	Trench-IGBT (6)
603GD122-3DUW	SKiiP 3	1200	450	2,5	480	S33	SPT (6)
603GD172-3DUW	SKiiP 3	1700	340	2,2	450	S33	Trench-IGBT (6)
603GD172-3DUWV7	SKiiP3	1700	440	2,2	570	S33	Trench-IGBT (6)
613GD123-3DUL	SKiiP3	1200	350	1,9	600	S33	Trench-IGBT (6)
613GD123-3DULBV	SKiiP3	1200	350	1,9	470	S33	Trench-IGBT (6)
25NABI066V1	MiniSKiiP IPM	600	30	1,45	39	MiniSKiiP	Trench-Field (CIB)
26NABI066V1	MiniSKiiP IPM	600	50	1,45	59	MiniSKiiP	Trench-Field (CIB)
37NABI066V1	MiniSKiiP IPM	600	75	1,45	79	MiniSKiiP	Trench-Field (CIB)
25AC112T4V1	MiniSKiiP IPM	1200	50	1,85	72	MiniSKiiP	Trench-Field (6)

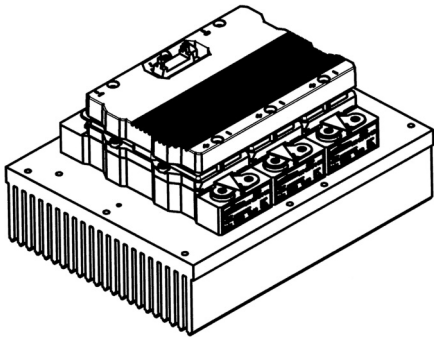


Рис. 12. Внешний вид модулей SKiiP3

лектор-эмиттер  $U_{нас}$  соответствуют температуре выводов модулей 125°C. В ИСМ-конфигурации С1В входят тормозные транзисторы (всего семь IGBT).

Упрощённые структурные схемы модулей SKiiP2/SKiiP3 с шестью и семью IGBT приведены на рисунке 11, функциональное назначение выводов определяется структурой и типами корпусов конкретных приборов. Внешний вид модуля в корпусе S33, установленного на теплоотвод с воздушным охлаждением PX16/280, показан на рисунке 12; вес модуля 2,4 кг, с теплоотводом – 7,5 кг. Фирма поставляет большое число типов теплоотводов с воздушным и водяным охлаждением. Кроме основ-

ных параметров, приведённых в таблице 2, ИСМ характеризуются большим числом показателей, необходимых для разработки аппаратуры. В качестве примера перечислим некоторые параметры модуля 342GDL120-3DU:

- максимальное напряжение питания на выводах 900 В (см. рис. 11);
- рабочая температура выводов модулей –40...150°C;
- напряжение изоляции 3000 В;
- напряжение насыщения при  $I_K = 250$  А и температуре выводов 25°C составляет 2,6 В (при  $T = 125^\circ\text{C} - 3,1$  В);
- прямое падение напряжения на антипараллельных диодах (Inverse diode) 2,1 В (при  $I_K = 250$  А,  $T = 25^\circ\text{C}$ );
- напряжения питания схем управления (14,4...15,6)/(20...30) В (рекомендуемые 15/24 В);
- максимальное напряжение сигналов управления (лог. 1) 15 В;
- максимальная частота входных ШИМ-сигналов 20 кГц;
- ток срабатывания системы защиты по току ОС 375 А;
- температура срабатывания защиты от перегрева ОН 110...120°C.

Особенности применения модулей SKiiP2/3 подробно изложены в руко-

водствах Modules-Explanations-SkiiP и Applications note на интернет-старнице фирмы [8]. Подробная информация на ИСМ серии MiniSKiiP IPM на сайте фирмы отсутствует (на лето 2009 г.), при необходимости она предоставляется по индивидуальным заявкам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.aircon.ru/useful/magazines/pdf/mitsubishi/9/5.pdf>.
2. <http://promstore.ru/article/article-crn.html>.
3. Fuji Electric and Team Semikron Up, <http://www.semikron.com/internet/index.jsp?sekId=443>.
4. IGBT Modules IPM, <http://www.fujielectric.com/device/semi/products/powerdevice/s/ipm.html>.
5. Fuji IGBT-IPM Application Manual, <http://www.fujielectric.com/device/semi/technical/application/pdf/REN983a/REN983a.pdf>.
6. Kiyoshi Sekigawa, Hiroshi Endo, Hiroki Wakimoto. U-series of IGBT-IPMs (600V). Fuji Electr. Rev. 2005. Vol. 52. No. 2. PP. 48–51.
7. <http://www.semikron.com/internet/index.jsp?sekId=289&sekNav=228>.
8. <http://www.semikron.com/internet/index.jsp?sekId=413&sekNav=228>.
9. Колтаков А. NPT, TRENCH, SPT, ... Что дальше? Силовая электроника. 2006. № 3. С. 14–22. ©



Honeywell

SICK



VISHAY



Kingbright

CRYDOM



## НИЗКОВОЛЬТНЫЕ NexFET ТРАНЗИСТОРЫ



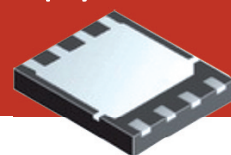
Транзисторы выполнены по уникальной технологии CICLON Semiconductor Device, объединяющей преимущества планарных и trench транзисторов:

- малое сопротивление открытого канала  $R_{ds(on)}$
- низкий заряд затвора
- увеличение частоты преобразования
- повышение КПД преобразования
- эффективные N и P каналные транзисторы
- одиночные транзисторы и сдвоенные с общим истоком

Корпус DSBGA



Корпус SON-8



www.platan.ru  
**ПЛАТАН**

Москва, ул. Ивана Франко, д. 40, стр. 2 Тел.: (495) 970-00-99 E-mail: platan@aha.ru  
Москва, 1-й Щемилковский пер., д. 16 Тел./факс: (495) 744-70-70 E-mail: platan@platan.ru  
Москва, ул. Народного Ополчения, д. 34, стр. 3 Тел./факс: (495) 660-55-48/49, 737-73-25 E-mail: sales@eltronik.ru  
Санкт-Петербург, ул. Зверинская, д. 44 Тел./факс: (812) 232-88-36 E-mail: baltika@platan.spb.ru

Реклама



Таблица 1. Основные параметры и особенности микромодулей стабилизаторов ( $\mu$ Module<sup>®</sup>) от Linear Technology

Тип	Входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		Выходной ток, А	Тип преобразователя	Особенности	Размеры корпуса LGA, мм
	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное				
LTM8020	4	36	1,2	5	0,2	Понижающий	–	6 × 6 × 2,32
LTM8021	3	36	0,8	5	0,5	Понижающий	Мягкий старт	11,25 × 6,25 × 2,82
LTM8040	4	36	0	13	1	Понижающе-повышающий (драйвер светодиодов)	Программируемое ограничение тока, температурная защита	15 × 9 × 2,82
LTM8022	3,6	36	0,8	10	1	Понижающий	Мягкий старт и резисторная установка частоты	11,25 × 9 × 2,82
LTM8023	3,6	36	0,8	10	2	Понижающий	Мягкий старт и резисторная установка частоты	11,25 × 9 × 2,82
LTM8032	3,6	36	0,8	10	2	Понижающий	Малощумящий, мягкий старт и резисторная установка частоты	9 × 15 × 2,82
LTM8025	3,6	36	0,8	24	3	Понижающий	Мягкий старт и резисторная установка частоты	15 × 9 × 4,32
LTM4604	2,3	5,5	0,8	5	4	Понижающий	Со слежением и мягким стартом	15 × 9 × 2,3
LTM4614	2,375	5,5	0,8	5	4	Понижающий	Со слежением и мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4609	4,5	36	0,8	34	4	Понижающе-повышающий	С внешней синхронизацией	15 × 15 × 2,82
LTM4619	4,5	26,5	0,8	5	4	Понижающий	Со слежением и внешней синхронизацией	15 × 15 × 2,82
LTM4615	2,375	5,5	0,8	5	4	Понижающий	Со слежением, мягким стартом и малым падением напряжения (LDO)	15 × 15 × 2,82
LTM4604A	2,375	5,5	0,8	5	4	Понижающий	Со слежением и мягким стартом	15 × 9 × 2,3
LTM4607	4,5	36	0,8	24	5	Понижающе-повышающий	С ШИМ и внешней синхронизацией	15 × 15 × 2,82
LTM4605	4,5	20	0,8	16	5	Понижающе-повышающий	С ШИМ и внешней синхронизацией	15 × 15 × 2,82
LTM4612	5	36	3,3	15	5	Понижающий	С ШИМ, внешней синхронизацией и мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4603	4,5	20	0,6	5	6	Понижающий	Со слежением, ШИМ, внешней синхронизацией, дистанционным датчиком и мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4606	4,5	28	0,6	5	6	Понижающий	С низким электромагнитным излучением (EMI), ШИМ с внешней синхронизацией и мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4602	4,5	20	0,6	5	6	Понижающий	С мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4602HV	4,5	28	0,6	5	6	Понижающий	С мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4603HV	4,5	28	0,6	5	6	Понижающий	Со слежением, ШИМ, внешней синхронизацией, дистанционным датчиком и мягким стартом	15 × 15 × 2,82
LTM4608	2,375	5,5	0,6	5	8	Понижающий	Со слежением и внешней синхронизацией	15 × 9 × 2,8
LTM4608A	2,4	5,5	0,6	5	8	Понижающий	Со слежением и внешней синхронизацией	15 × 9 × 2,8
LTM4616	2,375	5,5	0,6	5	8	Понижающий	Двойной выход, со слежением и внешней синхронизацией	15 × 15 × 2,82
LTM4600	4,5	20	0,6	5	10	Понижающий	С мягким стартом	15 × 15 × 2,8
LTM4600HV	4,5	28	0,6	5	10	Понижающий	С мягким стартом	15 × 15 × 2,8
LTM4601AHV	4,5	28	0,6	5	12	Понижающий	Со слежением, ШИМ, внешней синхронизацией, дистанционным датчиком и мягким стартом	15 × 15 × 2,8
LTM4601A	4,5	20	0,6	5	12	Понижающий	Со слежением, ШИМ, внешней синхронизацией, дистанционным датчиком и мягким стартом	15 × 15 × 2,8
LTM4601, LTM4601-1	4,5	20	0,6	5	12	Понижающий	Со слежением, ШИМ, внешней синхронизацией, дистанционным датчиком и мягким стартом	15 × 15 × 2,8
LTM4601HV	4,5	28	0,6	5	12	Понижающий	Со слежением, ШИМ, внешней синхронизацией, дистанционным датчиком и мягким стартом	15 × 15 × 2,8

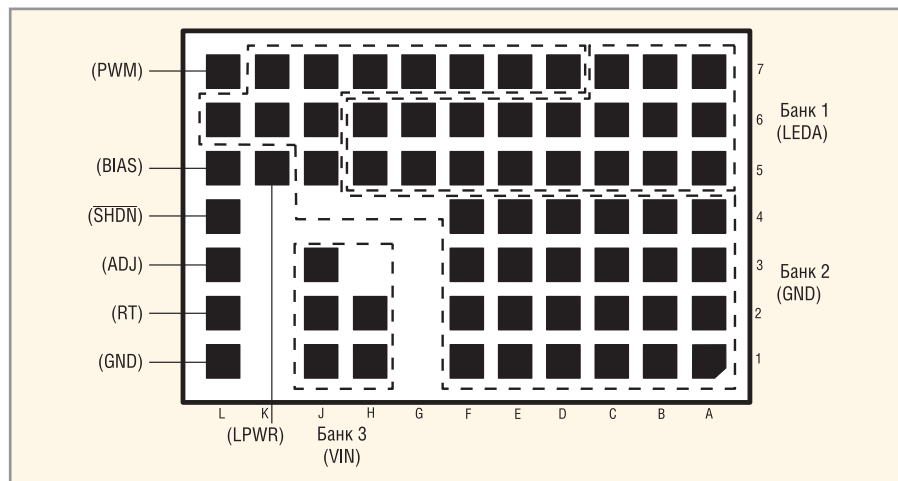


Рис. 4. Микромодуль LTM8040, расположение и назначение выводов (вид снизу)

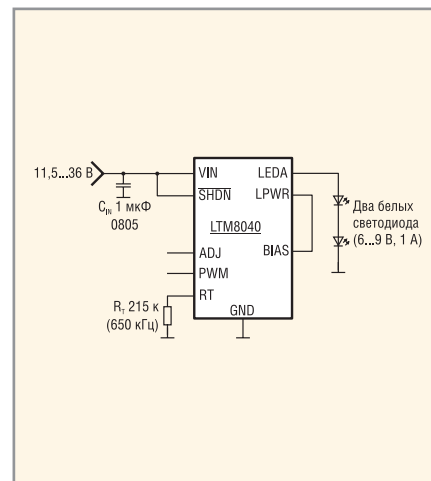


Рис. 5. Схема включения микромодуля LTM8040

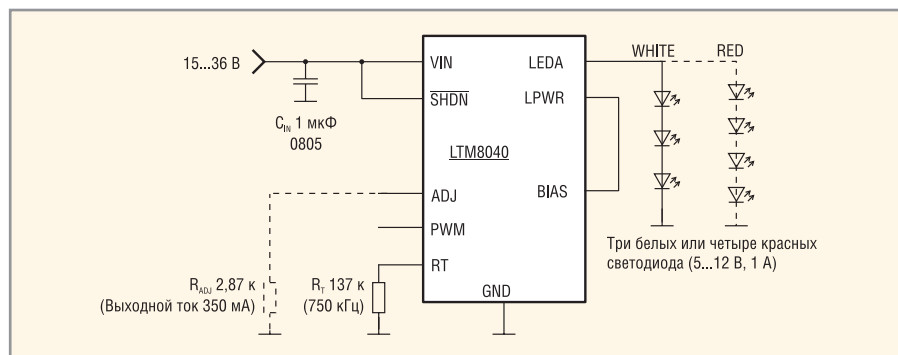


Рис. 6. Схема включения микромодуля LTM8040 для питания трёх белых или четырёх красных светодиодов

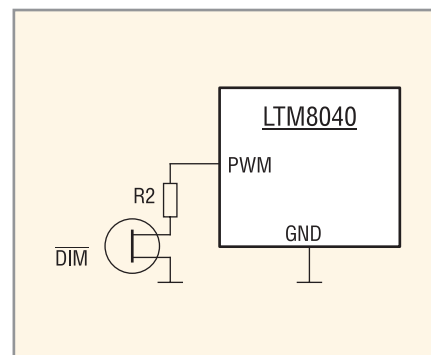


Рис. 7. Схема управления яркостью светодиодов методом ШИМ

воды корпуса (GND). Входное напряжение VIN поступает на выводы Bank 2. Выводы LEDA (Bank 1) – это выход микросхемы LTM8040. Его соединяют с анодом последовательной цепочки светодиодов, катод которой подключен на корпус. Минимальное напряжение на этом выводе составляет 2,5 В.

Вход SHDN (вывод L4) используется для записывания микросхемы. Активный

уровень – низкий (менее 0,3 В). Напряжение 2,65 В и более на этом выводе разрешает нормальную работу микросхемы. Если функция SHDN не используется, вывод SHDN следует соединить с плюсовой шиной питания. Через вход смещения BIAS (L5) и внутренний диод Шоттки обеспечивается питание внутренних вспомогательных схем. На этот вывод подают постоянное напряжение  $\geq 2,6$  В (обычно с выводов LPWR или VIN).

Выход LPWR (вывод K5) – это вспомогательный выход индуктивного понижающего преобразователя. Если выходное напряжение на выводах LEDA превышает 2,6 В, изготовитель рекомендует соединить этот вывод со входом BIAS. Если на вход BIAS поступает напряжение от другого источника, то вывод LPWR следует оставить неподключенным.

Вход PWM (вывод L7) используется для управления яркостью свечения светодиодов (Dimming Control) методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ). На этот вход можно подавать внешний управляющий сигнал ШИМ, от скважности которого зависит яркость свечения светодиодов. Когда уровень сигнала ШИМ выше 1,2 В, выходной ключ микромодуля открыт, а когда уро-

вень сигнала ШИМ ниже 0,4 В, выходной ключ закрыт. Чем большую часть периода открыт выходной ключ, тем больше напряжение на выходе. Один из вариантов ШИМ управления яркостью светодиодов показан на рисунке 7.

Если не требуется ШИМ-управление яркостью, то вывод PWM следует оставить неподключенным, как это сделано в схемах на рисунках 5 и 6.

Вход ADJ (вывод L3) используется для аналоговой установки или регулировки максимального значения выходного тока (ниже 1 А). Эта регулировка может осуществляться подачей на вход ADJ внешнего постоянного напряжения до 1,25 В или подключением между этим входом и корпусом внешнего резистора. В первом случае выходной ток можно определить по формуле:

$$I_{LED} (A) = \frac{U_{ADJ}}{1,25};$$

во втором случае внешний шунтирующий резистор  $R_{ADJ}$  рассчитывается по формуле:

$$R_{ADJ} (k\Omega) = \frac{5,1 I_{LED}}{1 A - I_{LED}}.$$

Если не устанавливать внешний шунтирующий резистор между вхо-

Таблица 2. Зависимость частоты преобразования LTM8040 от сопротивления внешнего резистора RT

RT, кОм	Частота, МГц
13	2,00
16	1,84
18,7	1,70
24,9	1,50
29,4	1,37
35,7	1,25
54,9	1,00
75	0,90
88,7	0,85
137	0,75
174	0,68
215	0,65
487	0,57
Не установлен	0,50

Таблица 3. Рекомендованные режимы и номиналы деталей обвязки LTM8040 и особенности подключения вывода BIAS

VIN, В	LEDA		R <sub>Adj</sub> , Ом	Оптимальные		Минимум R <sub>T</sub> , кОм	Максимум F, кГц	Подсоединение вывода BIAS
	U, В	I, mA		R <sub>T</sub> , кОм	F, кГц			
4,5...36	2,5...4	35	154	–	500	–	500	2,6...25 В
6,5...36	4...6	35	154	–	500	–	500	LPWR
9,5...36	6...9	35	154	–	500	–	500	LPWR
12,5...36	8...12	35	154	–	500	–	500	LPWR
4,5...36	2,5...4	100	453	–	500	–	500	2,6...25 В
6,5...36	4...6	100	453	–	500	165	700	LPWR
9,5...36	6...9	100	453	487	570	137	750	LPWR
12,5...36	8...12	100	453	487	570	88,7	850	LPWR
4,8...36	2,5...4	350	2870	–	500	–	500	2,6...25 В
7...36	4...6	350	2870	–	500	165	700	LPWR
10,5...36	6...9	350	2870	137	750	54,9	1000	LPWR
13,8...36	8...12	350	2870	75	900	29,4	1370	LPWR
4,8...36	2,5...4	500	5110	–	500	–	500	2,6...25 В
7...36	4...6	500	5110	–	500	165	700	LPWR
10,5...36	6...9	500	5110	137	750	54,9	1000	LPWR
14,3...36	8...12	500	5110	75	900	29,4	1370	LPWR
5...36	2,5...4	700	11 800	–	500	–	500	2,6...25 В
7,7...36	4...6	700	11 800	487	570	165	700	LPWR
11...36	6...9	700	11 800	165	700	54,9	1000	LPWR
14,8...36	8...12	700	11 800	75	900	29,4	1370	LPWR
5,5...36	2,5...4	1000	–	–	500	–	500	2,6...25 В
8...36	4...6	1000	–	–	500	137	750	LPWR
11,5...36	6...9	1000	–	215	650	54,9	1000	LPWR
15,5...36	8...12	1000	–	137	750	29,4	1370	LPWR

дом ADJ и корпусом, то максимальное значение постоянного тока через светодиод будет равно 1 А. Если сопротивление этого резистора равно 11,8 кОм, ток ограничен значением 700 мА. Для других сопротивлений этого резистора значение тока будет следующее: 5,11 кОм – 500 мА, 2,87 кОм – 350 мА (см. рис. 6), 453 Ом – 100 мА, 154 Ом – 35 мА.

Вывод RT (L2) используется для установки внутренней частоты генератора импульсного преобразователя с помощью внешнего времязадающего

резистора. Следует отметить, что внутри микромодуля LTM8040 уже установлен времязадающий резистор сопротивлением 80,6 кОм. С его помощью задана минимальная частота преобразования 500 кГц. Подключение внешнего времязадающего резистора R<sub>T</sub> увеличивает частоту. Зависимость частоты преобразования LTM8040 от сопротивления внешнего времязадающего резистора R<sub>T</sub> показана в таблице 2.

На схемах на рисунках 5 и 6 можно увидеть фильтрующий конденсатор C<sub>IN</sub>. Фирма Linear Technology реко-

Таблица 4. Падение напряжения на светодиодах разного цвета свечения

Цвет светодиода	Падение напряжения, В
Инфракрасный	1,6
Красный	1,8...2,1
Оранжевый	2,2
Жёлтый	2,4
Зелёный	2,6
Синий	3,0...3,5
Белый	3,0...3,5
Ультрафиолетовый	3,5

мендует в этой позиции устанавливать конденсатор для поверхностного монтажа типоразмера 0805 с малым ESR ёмкостью 1 мкФ. Остальные рекомендации по использованию микромодуля LTM8040 сведены в таблицу 3.

В заключение хочу обратить внимание читателя на схему, показанную на рисунке 6. В этой схеме к выходу LTM8040 можно подключать три белых или четыре красных светодиода. Это связано с тем, что падение напряжение на открытых светодиодах разных цветов свечения отличается (см. таблицу 4), что следует учитывать при разработке схем питания последовательно включенных светодиодов.

Более подробную информацию о микромодулях стабилизаторов µModule® можно найти на интернет-странице компании Linear Technology Corporation [1], а подробную информацию о LTM8040 – в технической документации на этот микромодуль [2], которая размещена там же.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.linear.com/>.
2. Linear Technology. LTM8040. 36V, 1A µModule LED Driver and Current Source. ©



**СПЕКТР**

## НА ПУТИ К ВЕРШИНЕ УСПЕХА

Компания СПЕКТР предлагает услуги по изготовлению и монтажу печатных плат. Возможно изготовление как опытных образцов, так и крупных партий.





Тел.: +7 (495) 220-6493, (981) 709-0482,  
+7 (960) 276-2841, (812) 333-2755

E-mail: [info@spectr-pcb.ru](mailto:info@spectr-pcb.ru)  
Web: [www.spectr-pcb.ru](http://www.spectr-pcb.ru)

# Новое поколение низкопотребляющих микроконтроллеров MSP430

Печатается с разрешения журнала Chip News Украина (chipnews.com.ua)

Михаил Дмитриев (г. Киев, Украина)

**Семейство MSP430, разменявшее второй десяток активной работы, по-прежнему остаётся лидером в области энергосберегающих микроконтроллеров. Однако инженеры Texas Instruments не останавливаются на достигнутом уровне и делают значительный шаг вперёд, предлагая новое поколение – MSP430F5xx – и вновь отрываясь от конкурентов.**

Платформы MSP430 развивается уже достаточно долго, разработчики Texas Instruments неустанно доводят архитектуру до требований современных условий, подтверждая раз за разом истину, что новое легко можно получить из хорошо забытого старого, ведь MSP430 – это наследник легендарного компьютера PDP-11 70-х годов. Однако гибкость платформы такова, что она по-прежнему остаётся в авангарде микроконтроллерной техники. Сначала устаревшую серию MSP430x3xx, не имевшую даже Flash-памяти, заменили на MSP430x1xx, MSP43x4xx и MSP430F2xx, которые «подростали» в производительности и периферии. Новое семейство также продолжает дальнейшее развитие этой архитектуры (см. рисунок).

Отличительные особенности MSP430F5xx:

- высокая производительность:
  - до 25 МГц;
  - 12 МГц при 1,8 В;
  - до 256 Кб Flash;
  - до 16 Кб RAM;
  - DMA, USB, АЦП, ЦАП и 4 USCI;
- функциональность:

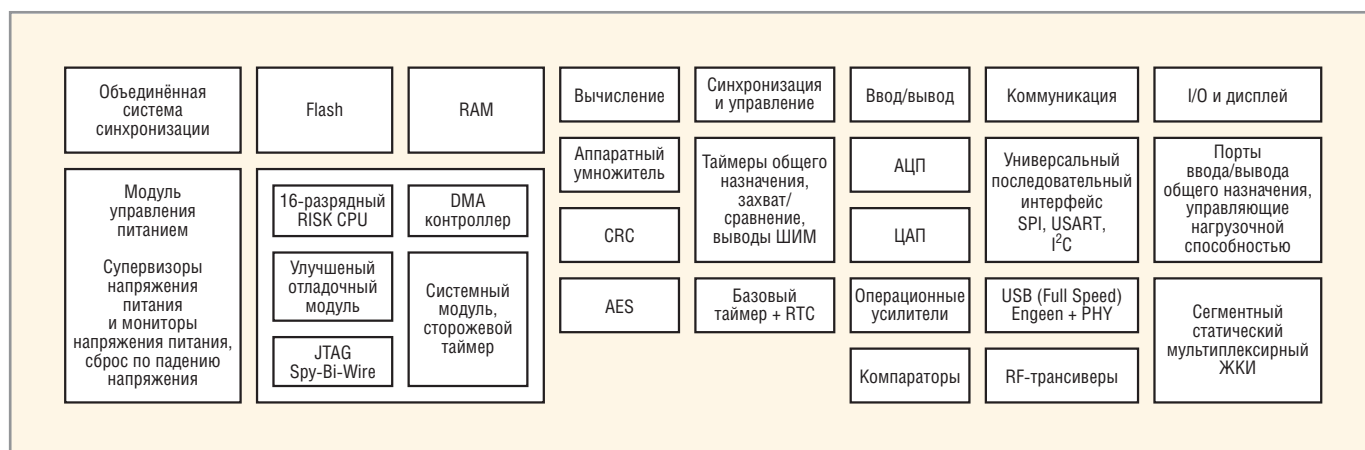
- поддержка USB, беспроводных протоколов, шифрования и ЖКИ-интерфейса;
- внутрисхемное программирование Flash при 1,8 В;
- возможность чтения из Flash во время выполнения операции стирания;
- простота использования:
  - надёжная и гибкая система синхронизации (0, 1 или 2 внешних источника тактового сигнала);
  - встроенный осциллятор (REFO) для работы без внешнего часового кварца;
  - надёжная система тактирования Flash;
  - определяемый пользователем загрузчик (BSL);
  - интегрированный генератор опорного напряжения;
- простота перехода:
  - прежняя система команд;
  - архитектура MSP430CPUX;
  - совместимость периферийных устройств;
  - ADC12 с меньшим энергопотреблением и улучшенным генератором опорного напряжения;

- усовершенствованный аппаратный умножитель 32x32;
- те же отладочные средства;
- новые периферийные устройства:
  - модуль управления энергопотреблением (PMM);
  - дополнительные возможности для пользователя;
  - интегрированный регулятор напряжения (LDO);
  - программируемые мониторы и супервизоры напряжения питания (SVM/SVS);
  - подстройка напряжения ядра для снижения энергопотребления.

В производстве чипов MSP430F5xx применяются новые технологические решения, что позволило перейти на более низкое напряжения питания ядра и периферии, повысив тем самым энергоэффективность микроконтроллера. Кроме того, МК новой серии обладают встроенным модулем управления напряжением питания (PMM), к которому подключена большая часть логики MSP430F5xx. Этот модуль осуществляет контроль падения напряжения питания, допустимые уровни которого можно изменять программно и использовать для переключения между четырьмя различными уровнями напряжения, снижая энергопотребление устройства в отсутствие нагрузки.

## ВНУТРЕННЕЕ УСТРОЙСТВО

Система синхронизации MSP430F5xx обладает дополнительным низкочастот-



Блок-схема архитектуры микроконтроллеров семейства MSP430F5xx

ным генератором REFO. Этот генератор позволяет обойтись без использования 32-кГц часового кварца в качестве источника опорного сигнала синхронизации. Встроенный генератор с цифровым управлением (DCO) выводит микроконтроллер из режимов пониженного энергопотребления в активный режим менее чем за 5 мкс. Как и в предыдущих MSP430, в новых микроконтроллерах используются три системных тактовых сигнала: ACLK, MCLK и SMCLK. Они могут быть связаны с любым из внутренних генераторов. 32-битный аппаратный умножитель MPY32 представляет собой расширенную версию 16-битного умножителя, использующегося в микроконтроллерах MSP430x2xx и MSP430x4xx, может осуществлять 32-битные умножения. В отличие от предшественника, MPY32 может работать с дробными числами в форматах Q. Добавлен режим насыщения для предотвращения переполнения.

MPY32 поддерживает:

- беззнаковое умножение;
- знаковое умножение;
- беззнаковое умножение с накоплением;
- знаковое умножение с накоплением;
- 8-, 16-, 24- и 32-битные операнды;

- насыщение;
- дробные числа;
- 8- и 16-битные операции, совместимые с 16-битным аппаратным умножителем;
- 8- и 24-битное умножение без расширения знака.

«Пятое» семейство включает специальный новый модуль SYS, который берёт на себя часть системных функций, имеющихся в предыдущих семействах, а также предоставляет ряд специфических для MSP430F5xx возможностей. Системный модуль обрабатывает события сброса и немаскируемые прерывания, содержит расширенный до 32 бит сторожевой таймер, а также предоставляет доступ к дескрипторам, специальным таблицам, содержащим подробную информацию о микроконтроллере, включающую версию, доступные устройства и т.д. Эти данные могут быть использованы как приложением в целях настройки системы под конкретное устройство, так и для различных отладочных задач.

### ПРЕРЫВАНИЯ

Приоритеты прерываний фиксированы и определяются последователь-

ностью расположения устройств в цепочке модулей. Существует три типа прерываний:

- системный сброс;
- (не)маскируемые (NMI);
- маскируемые.

Вообще NMI не маскируются общим битом разрешения прерываний (GIE). Семейство поддерживает два уровня немаскируемых прерываний – системные NMI (SNMI) и пользовательские NMI (UNMI). Если системные прерывания происходят очень часто и МК не успевает обрабатывать их все (условия «шторма прерываний»), то основная программа может выполнять одну инструкцию после каждого возврата из прерывания, позволяя избежать блокирования работы МК. В этом случае пользовательские NMI не могут прервать обработчики системных NMI.

### Память

Значительно модифицирована по сравнению с предыдущими версиями система памяти MSP430F5xx. Это вызвано не только модернизацией самой модели памяти, но и расширением адресного пространства, необ-



**ИНТЕРНЕТ МАГАЗИН**  
**Elitan.ru**

**МОСКВА**  
телефон (495)  
**649-84-45**  
Факс 495 646-80-01

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
телефон (812)  
**313-28-33**  
Факс 812 313-28-44

**ИЖЕВСК**  
телефон (3412)  
**50-33-30**  
Факс 3412 51-84-29

**ПРИБОРЫ  
И ИНСТРУМЕНТ**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ  
КОМПЛЕКТУЮЩИЕ**

**1 000 000 товаров от 999 изготовителей**

- Минимальный заказ не ограничен
- 12 способов доставки по России и за рубеж
- Удобная система оплаты:  
Банк, VISA, MasterCard, Webmoney, ЯндексДеньги, RBK Money.
- Ежедневное обновление склада
- Отслеживание состояния заказа через сайт









Реклама

ходимого в том числе для расширения количества поддерживаемых периферийных устройств. Область памяти ОЗУ MSP430F5xx начинается с адреса 01C00h. Размер этой области зависит от объёма ОЗУ конкретного микроконтроллера. Таблица векторов прерываний находится там же,

вверху адресного пространства, но число векторов прерываний увеличилось до 64. Область памяти для загрузчика увеличилась до 2 Кб, так как загрузчик поддерживает большее количество режимов загрузки, в том числе и режим, генерируемый пользователем.

Таблица 1. Режимы энергопотребления MSP430F5xx

SCG1	SCG0	OSCOFF	CPUOFF	Режим	Состояние ЦПУ и тактовых генераторов
0	0	0	0	Активный	ЦПУ, MCLK, ACLK активны. SMCLK опционально активен
0	0	0	1	LPM0	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK опционально. DCO включен, если он тактирует ACLK, MCLK или SMCLK. ФАПЧ активна, если включен DCO
0	1	0	1	LPM1	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK активен опционально. DCO включен, если он тактирует ACLK или SMCLK. ФАПЧ отключена
1	0	0	1	LPM2	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK отключен. DCO включен, если он тактирует ACLK. ФАПЧ отключена
1	1	0	1	LPM3	ЦПУ, MCLK отключены. ACLK активен, SMCLK отключен. DCO включен, если он тактирует ACLK. ФАПЧ отключена
1	1	1	1	LPM4	ЦПУ и все генераторы отключены
1	1	1	1	LPM3.5	При PMMREGOFF = 1 отключается регулятор напряжения. Память не сохраняется. RTC может продолжать работу при соответствующей настройке
1	1	1	1	LPM4.5	При PMMREGOFF = 1 отключается регулятор напряжения. Память не сохраняется. RTC не работает

Таблица 2. Представители семейства MSP430F5xx

Устройство	Flash, Кб	SRAM, Кб	USB	АЦП каналов/бит	Выводы
MSP430F5438	256	16	–	16/12	100
MSP430F5438A	256	16	–	16/12	113
MSP430F5437	192	16	–	16/12	80
MSP430F5436	192	16	–	16/12	100
MSP430F5436A	192	16	–	16/12	113
MSP430F5435	192	16	–	16/12	80
MSP430F5419	128	16	–	16/12	100
MSP430F5419A	128	16	–	16/12	113
MSP430F5418	128	16	–	16/12	80
MSP430F5500	8	4+2*	+	–	48
MSP430F5501	16	4+2*	+	–	48
MSP430F5502	24	4+2*	+	–	48
MSP430F5503	32	4+2*	+	–	48
MSP430F5504	8	4+2*	+	До 8/10	48
MSP430F5505	16	4+2*	+	4/10	48
MSP430F5506	24	4+2*	+	4/10	48
MSP430F5507	32	4+2*	+	4/10	48
MSP430F5508	16	4+2*	+	До 8/10	48, 64
MSP430F5509	24	4+2*	+	До 8/10	48, 64
MSP430F5510	32	4+2*	+	До 8/10	48, 64
MSP430F5513	32	4+2*	+	–	64, 80
MSP430F5514	64	4+2*	+	–	64, 80
MSP430F5515	64	4+2*	+	–	80
MSP430F5517	96	6+2*	+	–	80
MSP430F5519	128	8+2*	+	–	80
MSP430F5521	32	6+2*	+	16/12	80
MSP430F5522	32	8+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5524	64	4+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5525	64	4+2*	+	16/12	80
MSP430F5526	96	6+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5527	96	6+2*	+	16/12	80
MSP430F5528	128	8+2*	+	16/12	64, 80
MSP430F5529	128	8+2*	+	16/12	80

\*Дополнительные 2 Кб памяти доступны, если USB не используется.

## ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Низкопотребляющие режимы от LPM0 до LPM4 настраиваются битами CPUOFF, OSCOFF, SCG0 и SCG1 в регистре SR (см. табл. 1). Расположение этих бит в регистре статуса означает, что они будут сохранены и корректно восстановлены в случае обработки прерывания. Изменить состояние этих бит для того, чтобы по выходу из прерывания установился другой режим, можно, исправив во время обработки прерывания значение, сохранённое в стеке. Установка любого из режимов при помощи бит регистра SR сразу же переключает режим энергопотребления. Периферийные устройства, тактируемые отключенным генератором, блокируются до момента запуска соответствующих генераторов. Также периферия может быть отключена выставлением необходимых бит в управляющих регистрах. Использование режимов LPMx.5 серьёзно отличается от методов работы с остальными режимами. Они, в случае правильного использования, обеспечивают наименьшее возможное потребление энергии устройством. Для достижения этого при входе в LPMx.5 отключается регулятор напряжения модуля управления питанием, снимая напряжение питания с ядра устройства. Поскольку напряжения на ядре нет, всё содержимое регистров и памяти SRAM стирается. Выход из режима LPMx.5 запускает событие BOR (сброс по просадке напряжения), что вызывает полный сброс системы, поэтому задачей разработчика является обеспечение корректного восстановления работы и реинициализации устройства после сброса. Пробуждение из режима сверхнизкого потребления занимает значительно больше времени, нежели выход из прочих режимов, что, в частности, вызвано необходимостью вывода напряжения на ядре до рабочего уровня и выполнения загрузочной подпрограммы до запуска основного кода приложения. Поэтому использовать режимы LPMx.5 имеет смысл только при достаточно длительных периодах между обрабатываемыми событиями. Следует заметить, что не все режимы LPMx.5 доступны в устройствах MSP430F5xx.

## USB


Одним из самых востребованных разработчиками нововведений является поддержка новыми чипами протокола USB (нужно заметить, что не все

представители семейства работают с ним, см. табл. 2). Широкое распространение USB-интерфейса обуславливает его привлекательность для приложений, осуществляющих обмен данными с ПК или другими микроконтроллерами, периодическую загрузку данных или обновление прошивки извне. Очень часто такие устройства являются портативными, как, например, медицинские и промышленные устройства, осуществляющие накопление данных с последующей их передачей в головное устройство для анализа и постобработки. По причине портативности устройств применение USB должно быть экономичным с точки зрения энергопотребления и цены. Одна из

причин широкого распространения USB – простота использования для конечного пользователя. Однако за этой простотой скрывается сложность самой технологии, что очень часто недооценивается разработчиками – возникает множество новых терминов и процедур, не разобравшись с которыми, пользователь не может добиться правильного функционирования протокола. В результате этого увеличиваются сроки и стоимость разработки. В MSP430F5xx технология USB интегрирована таким образом, что пользователю нет необходимости разбираться с её организацией. Для использования USB в схему устройства необходимо добавить только USB-коннектор и не-

сколько дискретных компонентов, а в программный код – включить API-стеки, предлагаемые компанией-производителем и реализующие три наиболее популярных класса устройств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые микроконтроллеры Texas Instruments, несомненно, вызовут горячий интерес у разработчиков встраиваемой и особенно портативной техники, питающейся от батарей. Новые возможности вкупе с доступной обширной базой множества отлаженных приложений, на возможности которых можно опираться в работе, представляют собой крайне привлекательный инструмент. 

## Новости мира News of the World Новости мира

### Передача изображений сквозь непрозрачные материалы возможна

Существует несколько технологий, при помощи которых можно «устранить» некоторое препятствие и посмотреть, что находится за ним. Вспомнить хотя бы давно используемые рентгеновские лучи или ещё не до конца исследованные в плане потенциала Т-лучи, относящиеся к терагерцевому диапазону спектра. Если вести речь о «просвечивании» в масштабе зданий, в этой области также имеются современные разработки на основе беспроводных сетей и дополненной реальности. Однако все эти варианты предусматривают посторонний источник излучения определённых волн. Изучаемая в парижской Высшей школе промышленной физики и химии технология позволяет передать сквозь непрозрачные материалы простые изображения в обычном видимом диапазоне, и она уже испытана на покрытом толстым слоем краски стекле.

Называемые непрозрачными объекты не всегда являются в буквальном смысле блокирующими свет. Некоторые совсем немного, но пропускают лучи. Они настолько рассеиваются при прохождении через материал, что разглядеть что-либо за ним практически нереально. Однако в 2007 г. эксперименты показали необоснованность столь категоричного утверждения, а недавно физик Сильвен Гиген (Sylvain Gigan) с коллегами смог реконструировать переданное через препятствие оптическое изображение. Учёные добились результата при помощи «обратного инжиниринга» процесса рассеяния в покрытом краской стекле. Рассеяние является сложным явлением, но предска-



мым: та же световая волна будет всегда вести себя одинаково. Оказываемый определённым объектом эффект на рассеяние света известен как матрица передачи (transmission matrix). «Если слой краски является лабиринтом для света, тогда можно представить матрицу как его карту», – объясняет Гиген.

Исследователи создали матрицу передачи для покрашенного стекла путём его «обстрела» слабым лазером более 1000 раз, меняя форму луча пространственным световым модулятором – тем же устройством, которое используется для контроля излучения видеопроектора. Цифровая камера регистрировала рассеянный свет на другой стороне, затем проводилось сравнение снятого материала и операций с лазером. Это позволило измерить полную матрицу передачи краски. Если на стекло проецировалось простое изображение, невооружённый взгляд видел лишь светлые пятна. Но имея матрицу, учёные смогли восстановить из слабого зашумлённого светового следа первоначальное изображение. Причём, как утверждает Гиген, можно достичь скорости обработки, почти соответствующей видео.

К практическому применению технология пока не готова. Тестовое изображение представляло собой 256-пиксельную

прямоугольную сетку с несколькими яркими квадратами. По словам Гигена, качество изображений быстро снижается с увеличением количества пикселей, поскольку отношение сигнал/шум также ухудшается. Но потенциал для совершенствования велик. Аллард Моск (Allard Mosk) из Университета Твенте (University of Twente) в Нидерландах, в 2007 г. фокусирующий свет через яичную скорлупу и зубы человека, говорит о начале долгого и захватывающего пути для технологии. Результаты с 256-пиксельным изображением должны побудить другие группы учёных направить усилия в ту же область исследований.

[newscientist.com](http://newscientist.com)

### Samsung разработала сенсорную AMOLED-панель

На днях Samsung Mobile Display объявила о начале массового производства AMOLED-панели с функцией сенсорного ввода. Первая продукция сойдёт с конвейера в марте. Компания сообщила, что новый AMOLED-экран имеет диагональ 3,3 дюйма и работает при разрешении WVGA (800 × 480 точек).

До недавнего времени Samsung выпускала дисплеи, состоящие из двух слоёв – непосредственно экрана AMOLED и сенсорной панели. Гибридная технология позволила разместить датчики ввода прямо на экране. Небольшая толщина сенсорного слоя (0,001 мм) сделает картинку ещё более чёткой и насыщенной.

Представитель Samsung Mobile Display заявил, что новая разработка станет первым номером, обойдя старые LCD- и AMOLED-экраны.

[koreaitimes.com](http://koreaitimes.com)

# TFT – теория и практика

Печатается с разрешения журнала Chip News Украина (chipnews.com.ua)

**Евгений Рахно (г. Киев, Украина)**

Компания Microchip всегда славилась всесторонней поддержкой пользователя и обилием AppNotes, но, не смотря на это, многие вопросы до сих пор кажутся пользователям чересчур сложными. К таким вопросам относится и тема TFT-индикаторов. В данной статье мы с точки зрения как теоретиков, так и практиков, попробуем разобраться в данном вопросе.

Нельзя сказать, что рынок TFT-индикаторов для встроенных систем переполнен, однако даже сейчас трудно разобраться, что же в действительности поставляет тот или иной поставщик, предлагая весьма заманчивые цены.

Для начала давайте определимся, из чего же состоит TFT-индикатор (при кажущейся простоте вопроса всё несколько сложнее, чем кажется):

- «стекло»;
- буфер памяти;
- графический контроллер;
- Touch-pad (опционально).

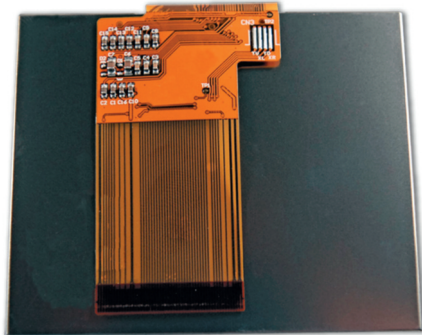


Рис. 1. TFT-индикатор без графического контроллера

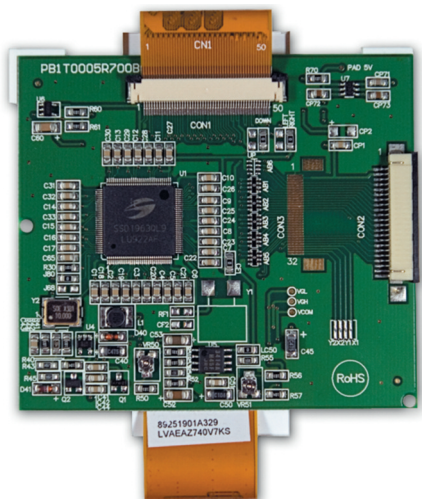


Рис. 2. TFT-индикатор RFC57A1 – «все включено»

## «СТЕКЛО»

*Теория.* Со «стеклом» всё более-менее понятно – это то, на чём отображается картинка. «Негативное стекло» и «синяя подсветка» в случае с TFT-индикатором неуместны, ведь главное в TFT – правильное изображение. Стекло может как быть «голым», так и иметь установленные микросхемы для управления «развёрткой экрана». Если контроллер, при помощи которого вы собираетесь управлять TFT-индикатором, довольно-таки мощный и имеет на борту встроенный буфер памяти и встроенный графический контроллер, то «голового» стекла вам будет вполне достаточно и переплачивать лишние деньги не следует. Руководствуясь именно этими соображениями, многие фирмы-производители выпускают TFT-индикаторы без буфера памяти и без графического контроллера (рис. 1)!

*Практика.* Цена «голового» TFT кажется весьма заманчивой, но для управления требуется контроллер с огромным ОЗУ и очень высокой производительностью (150 MIPS и выше).

## БУФЕР ПАМЯТИ (FRAME)

*Теория.* В буфере памяти хранится «слепок» экрана. Так как мы имеем дело с цветным индикатором, необходимо затронуть вопрос цвета. Для формирования одного в TFT-индикаторе используется RGB-модель – аддитивная цветовая модель, в которой красный (Red), зелёный (Green) и синий (Blue) смешиваются воедино, воссоздавая полный спектр цветов (на практике это выглядит как три микроскопических прямоугольника). Управляя яркостью каждого из них, мы и получаем цвет. На сегодня самыми распространёнными моделями RGB-цветности для встроенных приложений являются RGB 565 и RGB 666:

- RGB 565: red – 5 бит, green – 6 бит, blue – 5 бит, 16 бит – 65 536 цветов. Для хранения информации о точке требуется два байта;
- RGB 666: red – 6 бит, green – 6 бит, blue – 6 бит, 18 бит – 262 144 цвета. Для хранения информации о точке требуется три байта.

*Практика.* RGB 565 охватывает меньший цветовой диапазон, но требует в полтора раза меньше ОЗУ для хранения информации о точке, нежели RGB 666. Советуем перевести монитор своего компьютера из режима 32 бит в режим 16 бит – разница между режимами не так уж и велика, не говоря уже о разнице 16/18. Зачастую TFT-индикаторы работают именно в 18-битном режиме, но даже в этом случае мы всё равно советуем использовать систему 565, а для согласования с 666 выполнять сдвиг R- и B-каналов на один бит влево: RGB 565 (RRRRR GGGGG BBBBB) × RGB 666 (RRRRR0 GGGGG BBBBB0).

Расчёт объёма буфера памяти для индикатора 320 × 240 с глубиной цвета 16 бит даёт нам следующие цифры: буфер = «количество точек» × «глубина цвета» = 320 × 240 × (16/8) = 153 600. Согласитесь, далеко не каждый контроллер способен безболезненно отдать такой объём ОЗУ под графику.

## ГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР (CONTROL BOARD)

*Теория.* Графический контроллер – это микросхема (или набор микросхем) для обмена данными между буфером памяти и «стеклом», а также для «связи с внешним миром» посредством параллельного интерфейса Intel 8080 или Motorola 6800. Также графический контроллер может иметь набор команд «графического ускорителя», например, команды для черчения линий, окружностей, многоугольников, заливки области определённым цветом, инверсии, наложения изображений.

*Практика.* Графический контроллер включает в себя всё необходимое для управления «голым» стеклом, включая буфер памяти, и размещается он на обратной стороне TFT-индикатора. Исхо-

дия из финансовых соображений, наиболее оптимальным решением является покупка TFT с графическим контроллером на борту (TFT+Frame+ControlBoard), например, RFC57A1 (5,7", 320 × 240, управляющий контроллер на борту, touch-pad) и RFC35B1 (3,5", 320 × 240, управляющий контроллер на борту, touch-pad) (рис. 2).

## ПОДКЛЮЧЕНИЕ К МИКРОКОНТРОЛЛЕРУ

**Теория.** В случае «голого» стекла сам факт подключения вызывает сомнения, а для подключения к графическому контроллеру по протоколу Intel 8080 вам понадобятся следующие сигнальные линии: Data [0..7], WR/RD/CS/DC(RS). В случае использования аппаратного параллельного мастер-порта микроконтроллера данные сигналы вешаются напрямую на мастер-порт. В случае, если контроллер не имеет такой периферии, данную проблему можно решить на программном уровне.

Также вам понадобится подключить напряжение питания (3...3,3 В), напряжения подсветки и сигнал RST сброса графического контроллера. Опционально – подключения Touch-pad.

**Практика.** Все управляющие сигналы и линии питания подключаются через гибкий 20-контактный шлейф (CON2 на рис. 2). Touch-pad – гибкий четырёхконтактный шлейф (шлейф является частью TFT-индикатора).

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

**Теория.** Всё сложно. Самостоятельно написать программное обеспечение для работы с TFT-индикатором, конеч-

но, возможно, но займёт это не один месяц.

**Практика.** Как уже отмечалось выше, компания Microchip предоставляет полную техническую поддержку, в рамках которой пользователь абсолютно бесплатно получает графическую библиотеку Microchip (условием бесплатного распространения библиотеки является её использование совместно с микроконтроллерами Microchip).

Библиотека содержит в себе такие функциональные блоки:

- инициализация микроконтроллера;
- доступ к параллельному мастер-порту (PMP);
- инициализация графического контроллера;
- функция «точка»: точки заданного цвета в видимой области TFT-индикатора;
- функции основных графических примитивов: линия, многоугольник, окружность, закрашенный многоугольник и т.д.;
- функции сложных графических объектов: кнопки, вывод текста (включая выравнивание слева/по центру/справа и т.д.), check box, progress bar, scroll, поля ввода и редактирования данных, построение диаграмм, графиков и т.д.;
- функции отображения графики и анимации, добавление пользовательских шрифтов.

Данная библиотека поставляется в виде открытого кода – все «исходники» доступны. Структурная схема графической библиотеки Microchip приведена на рис. 3. Изначально она рассчитана на работу с цветом в формате RGB 565.

Изображение на TFT-индикатор выводится при помощи функции putpixel, которая и контактирует с «железом» индикатора, остальные объекты просчитываются программно и выводятся на дисплей при помощи функций putpixel и getpixel. Такой подход позволил получить гибкую библиотеку, теоретически совместимую с любым индикатором, присутствующим на рынке. Полный перечень графических контроллеров, поддерживаемых данной библиотекой, можно найти на сайте [www.microchip.com/qvga](http://www.microchip.com/qvga). ☺

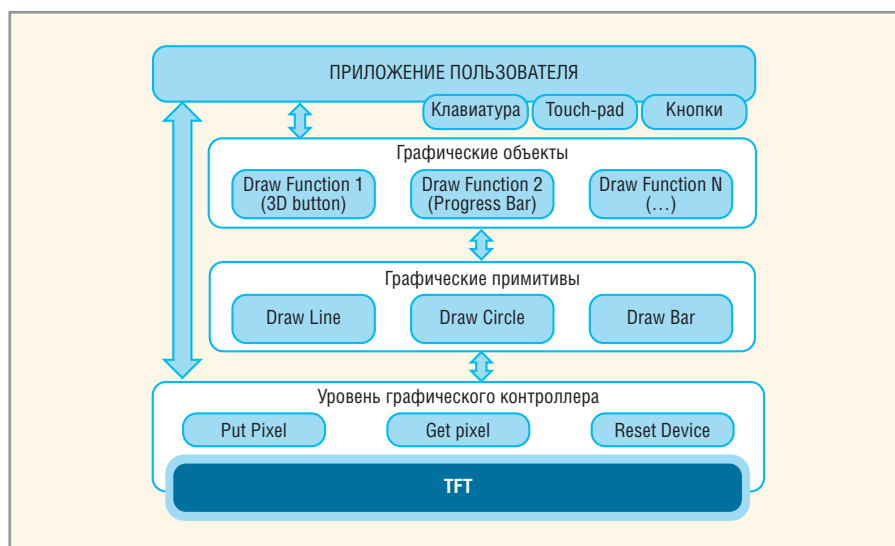


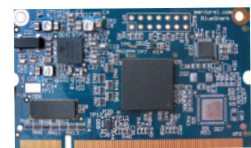
Рис. 3. Структурная схема графической библиотеки Microchip



### ООО МЕНТОР ЭЛЕКТРОНИКС

разрабатывает и производит процессорные модули в формате SO-DIMM. Модули основаны на процессорах с ядром ARM9 и Cortex-A8 и выполнены в двух температурных диапазонах: промышленном (-40...+85°C) и коммерческом (0...+70°C).

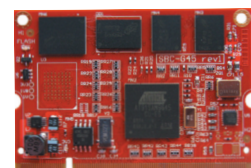
#### BlueShark OMAP3530



#### SBC-9263 AT91SAM9263



#### GEM45 AT91SAM9G45



- Отладочные платы
- LCD-модули с тачскрином
- Linux Embedded бесплатно

**Приглашаем дилеров к сотрудничеству**

ООО «МЕНТОР ЭЛЕКТРОНИКС»

(495) 646-04-13

[www.mentorel.ru](http://www.mentorel.ru) [sale@mentorel.ru](mailto:sale@mentorel.ru)

# Интерфейс USB во встраиваемых системах: применения, достоинства, ограничения, перспективы

**Пётр Павлов (Москва)**

**В статье дана объективная картина развития технологии USB, представлены рыночные и дизайнерские тенденции, показано, почему в ближайшее время эта технология будет находить всё более широкое применение во встраиваемых приложениях.**

Последовательные технологии для передачи данных стали одним из инструментов SWaP-оптимизации встраиваемых систем. SWaP (Size, Weight and Power – габариты, масса и энергопотребление) – относительно новая аббревиатура, превратившаяся по сути в термин. Его появление указывает на важность комплексного решения задачи минимизации массогабаритных характеристик и энергопотребления встраиваемых систем. Одним из инструментов для решения этой задачи стали современные технологии последовательной передачи данных. Они не только обеспечивают высокую пропускную способность, но и компактны в «кремневой» реализации, имеют малогабаритные разъёмы, а также зачастую поддерживают управление питанием. Одной из таких технологий является USB (Universal Serial Bus – универсальная шина для последовательной передачи данных).

Предлагаемые сегодня материнские платы для промышленных компьютеров имеют 6 – 8, а в ряде конструкций и более десятка портов USB. Интерфейс USB 2.0 поддерживается всеми пятью спецификациями разъёмов одноплатных компьютеров стандарта COM Express и стандартом COMIT (Computer-On-Module Interconnect Technology – технология подключения COM-модулей). Он включён в спецификацию SUMIT (Stackable Unified Module Interface Technology – унифицированная интерфейсная технология для «этажерочных» конструкций встраиваемых систем), в новый стандарт COM-модулей QSeven и в спецификацию MiniBlade. Последняя спецификация позволяет интегрировать в состав встраиваемой системы твердо-

тельный накопитель или расширить систему ввода/вывода.

Технологии StackableUSB и MiniBlades позволяют использовать интерфейс USB в приложениях рынка встраиваемых систем для жёстких условий эксплуатации. Для подобных приложений предлагаются также решения на основе кабельного подключения по технологии USB модулей форм-фактора PC/104. При этом используются специальные разъёмы, обеспечивающие большое усилие для механического формирования контакта.

Интерфейс USB является иерархическим и использует разделение устройств на «ведущие» (host, «мастер») и «ведомые» (slave, device). Сегодня функции хоста USB (Host USB) поддерживаются не только компьютерными процессорными платформами и специализированным «кремнием» для ПК и одноплатных COTS-компьютеров (Commercial Off-The-Shelf – готовые к применению модули коммерческого исполнения) для встраиваемых систем, но и COTS-микроконтроллерами, что позволяет интегрировать технологию USB практически в любую встраиваемую систему. Для интеграции USB-технологии во встраиваемую систему требуется микроконтроллер, поддерживающий режимы USB Host или USB On-The-Go (OTG). Последний позволяет одному и тому же устройству выступать как в роли хоста, так и в роли «ведомого» устройства. Микроконтроллер, поддерживающий только режим USB Device, может быть использован лишь для создания периферийных (подключаемых, «ведомых») подсистем. В качестве примера микроконтроллеров, поддерживающих возможность создания хоста технологии USB во встраиваемой системе можно на-

звать микроконтроллеры PIC24F (16-разрядные) и PIC32 (32-разрядные) компании Microchip Technology. После приобретения компанией Texas Instruments линейки ARM-микроконтроллеров компании Luminary Micro (вместе с самой компанией) Texas Instruments вошла в число главных поставщиков микроконтроллерных USB-платформ для интеграции этой технологии во встроены системы. Речь идёт о семействах LM3S3000 и LM3S5000, поддерживающих режимы USB On-The-Go и USB Host/Device.

Дополнительным достоинством многих из таких современных микроконтроллеров является их программируемость на языке C, что упрощает написание приложения. И уж совсем облегчается подобная задача при использовании готовых программных модулей, реализующих работу протоколов USB, файловой системы (FAT16 или FAT32) и т.п. В этом случае первая итерация по написанию приложения занимает считанные часы, тогда как написание кодов «с нуля» может потребовать нескольких месяцев. В качестве примеров коммерческих программных стеков для поддержки технологии USB во встраиваемых системах можно назвать пакет smxUSB от компании Micro Digital, предназначенный для ряда микроконтроллеров компаний Atmel, NXP, Freescale, или же набор программного обеспечения CMX-USB от компании CMX Systems для микроконтроллеров Atmel (микроконтроллеры SAM9, RM92XX), NXP (микроконтроллеры LPC2XXX), Freescale (микроконтроллеры ColdFire), программное обеспечение Stellaris USB Library, которое компания TI предлагает для линейки микроконтроллеров, приобретённой вместе с Luminary Micro.

## **ИНТЕРФЕЙС USB В ОДНОПЛАТНЫХ КОМПЬЮТЕРАХ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Помимо разработок встраиваемых систем, использующих возможности

интерфейса USB, что называется, «с чистого листа», возможна интеграция таких систем на основе одноплатных компьютеров класса COTS. Их конструкция включает несколько (6 – 8), а в ряде промышленных материнских плат и более десятка портов USB, внутренних и внешних. Два-три порта USB 2.0 в таких изделиях – скорее исключение, чем правило. До восьми портов USB 2.0 поддерживают модули формата COM Express ETXexpress-PM от Kontron, пять портов USB 2.0 можно найти на одноплатных компьютерах TP A40/30x формата 3U CompactPCI компании Concurrent Technologies, шесть портов USB 2.0 имеет модуль CC40x компании General Micro Systems (это также одноплатный компьютер формата 3U CompactPCI). Одноплатный компьютер F19P на основе стандарта CompactPCI Plus (форм-фактор 3U) в стандартной комплектации поддерживает фронтально два порта USB 2.0, а четыре порта USB 2.0 отведены в его конструкции для тыльного подключения. Спроектированная под процессор Intel Atom Z530/1,6 ГГц и чипсет Intel US15, материнская плата KTUS15 форм-фактора Mini-ITX имеет восемь портов USB 2.0, а у материнской платы KTGМ45/mITX на основе чипсета (Intel Mobile 82GM45 + ICH9EM) их уже 12 (8 внутренних и 4 внешних).

Интерфейс USB стал обязательным компонентом современных стандартов встраиваемых плат компактных габаритов (Small Form Factor Board, SFFB). Спецификация разъёма SUMIT (Stackable Unified Module Interface Technology – технология построения коммуникаций в системе унифицированных модулей при создании «этажерочных» (stackable) конструкций встраиваемых систем) поддерживает технологию USB. Стандарт QSeven предусматривает использование шести интерфейсов USB 2.0.

В задачах внешнего подключения интерфейс USB всё чаще заменяет во встраиваемых системах промышленного уровня устаревшие интерфейсы COM (RS232/422/485), LPT, PS/2. Интерфейс USB превратился в универсальную технологию подключения как стандартных периферийных подсистем (например, клавиатуры), так и специализированного внешнего оборудования, вроде считывателя штрих-кодов или специализированной системы сбора данных. Стандарт RNDIS

(Remote Network Driver Interface Specification – спецификация интерфейса драйвера для работы с сетью в дистанционном режиме) позволяет эмулировать технологию Ethernet на основе USB-интерфейса. Эта спецификация не включена в базовый стандарт USB, однако она поддерживается такими операционными системами, как Windows и Linux. Используя специальный драйвер для поддержки технологии RNDIS, можно обеспечить интерфейс стека протоколов USB со стеком протоколов TCP/IP, поддерживающих web-сервер USB-устройства. При этом браузер компьютера, к которому подключается USB-устройство, может работать с web-сервером USB-устройства даже в отсутствие Ethernet-соединения. Этот приём может быть использован для поиска неисправностей или конфигурирования встраиваемой системы в полевых условиях с помощью рабочего ноутбука обслуживающего персонала. Устройство, поддерживающее функции хоста USB, можно подключить через адаптер USB to Ethernet к локальной сети, используя для этого интерфейсы драйверов класса USB to Ethernet к стеку протоколов TCP/IP из стека USB-хоста.

Весьма популярным применением технологии USB во встраиваемых системах является подключение твердотельных флэш-накопителей ёмкостью в несколько гигабайт, что позволяет создавать встроенные системы сбора данных, устойчивые к неблагоприятным внешним механическим воздействиям, при которых системы на основе жёсткого диска могут выйти из строя. Спецификация MiniBlade позволяет интегрировать в состав встраиваемой системы твердотельный накопитель (рис. 1), на основе этой же технологии может быть организовано расширение системы ввода/вывода встраиваемой системы.

Стандарт MiniBlade определяет габариты разъёма и отнесение выводов компактной встраиваемой системы хранения данных. «Электрический интерфейс» MiniBlade включает, помимо шин PCI Express, SATA, SDIO, MMC, ещё и USB (в т.ч. зарезервированы контакты для поддержки USB 3.0). В зависимости от приложения и конкретной конструкции, в разъёме может быть использован один из этих интерфейсов или их комбинация. Установка твердотельного накопителя возможна в «горячем» режиме одной рукой.

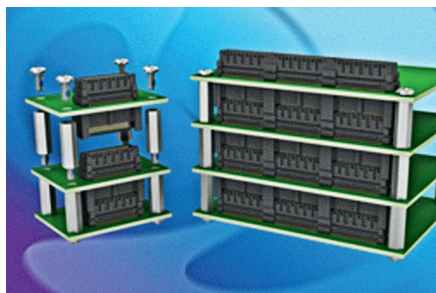


Рис. 1. Твердотельный накопитель в разъёме MiniBlade

Для извлечения модуля необходим специальный инструментарий. На плате можно разместить как один разъём MiniBlade, так и несколько. В последнем случае необходимо использовать микросхему специализированного коммутатора.

### О СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ШИНЕ USB

Интерфейс USB был представлен рынку в 1995 г. Уже его первая версия USB 1.1 обеспечила вполне приличную теоретическую скорость передачи данных в 12 Мбит/с для подключения периферийных устройств (от клавиатуры и «мыши» до принтеров). Вторая версия стандарта, поддерживающая три скоростных режима – High-Speed (480 Мбит/с), Full-Speed (12 Мбит/с) и Low-Speed (1,5 Мбита/с), – заставила обратить внимание на технологию USB разработчиков мультимедийных приложений и систем хранения данных. Режим Full-Speed нашёл применение при работе с принтерами, флэш-дисками для хранения данных или обновления встраиваемого программного обеспечения, а также для работы с джойстиком или «мышью», а режим High-Speed – для работы с сетью и потоковым видео. Последняя версия стандарта USB 3.0 с заявленной теоретической скоростью передачи данных до 5 Гбит/с подтянула уже привычный всем интерфейс до потребностей самой современной мультимедийной бытовой электроники. При использовании USB 3.0 перекачка данных для нужд современных видеокамер и MP3-плееров по интерфейсу будет осуществляться практически мгновенно. Однако считать, что для выяснения скорости передачи данных в байтах достаточно поде-



**Рис. 2. Разъёмы компании Samtec, позволяющие использовать технологию StackableUSB**

лить эти числа на 8, было бы неправильно. При таком академическом подходе результат будет не слишком отличаться от истины, если только использовать процессор с гигагерцовой рабочей тактовой частотой и контроллером USB, поддерживающим технологию DMA (Direct Memory Access – прямой доступ к памяти).

Особенности протокола передачи по интерфейсу USB сами по себе уменьшают реальную пропускную способность. В составе служебной информации – маркерные пакеты (Token Packets), пакеты подтверждения (Handshake Packets) для контроля результатов пересылки данных. Протокол также должен обеспечивать контроль с использованием циклического избыточного кода CRC (Cyclic Redundancy Code), что тоже сокращает объём полезной информации в передаваемом потоке. В результате 12 Мбит/с, например, могут выродиться в 10 Мбит/с или 1,25 Мб/с, да и то, если использовать пакеты данных в 64 Кб. При меньших пакетах деградация полезной пропускной способности будет ещё большей.

Свой вклад в уменьшение пропускной способности интерфейса USB может внести и само приложение. Так, при работе со SCSI-устройствами перегруженность служебной информацией может составлять от 0,5% (при размере блоков данных в 8 Кб) до более чем 8% (при размере блоков в 512 байт). Ну а объём используемых блоков определяется в том числе и объёмом отведённой для их обработки памяти RAM.

При работе с твердотельными дисками на максимально возможной скорости передачи данных на пропускную способность влияют не только особенности протокола USB, но и физические ограничения на скорость записи.

Поэтому для оценки можно считать, что процессоры «среднего класса» (микроконтроллеры на основе ядра ARM7 или семейства ColdFire с рабочей тактовой частотой до 80 МГц) могут обеспечить передачу данных со скоростью 800 Кб/с в режиме Full-Speed и 2500 Кб/с в режиме High-Speed. В связи с обоснованной популярностью беспроводных технологий ряд производителей «кремния» предлагает чипсеты адаптеров USB to WiFi, которые поддерживаются специальным программным обеспечением и позволяют осуществлять обмен данными на скорости 200 Кб/с при использовании процессоров среднего класса.

### **ИНТЕРФЕЙС С ФУНКЦИЯМИ ПИТАНИЯ ПОДКЛЮЧЁННЫХ УСТРОЙСТВ**

Говоря о достоинствах применения технологии USB на рынке встроённых систем, следует принимать во внимание не только возможность быстрых коммуникаций по этому интерфейсу и его компактность, но и возможность питания подключённой периферии.

В технологии USB 2.0 устройства с собственным источником питания могут потреблять от шины ток, не превышающий 100 мА, а остальную мощность они потребляют от собственного блока питания. Ток потребления устройства, не имеющего собственного источника питания, от шины USB может составлять до 500 мА. Такое устройство должно поддерживать режим Suspend Mode (режим низкого энергопотребления).

В стандарте USB 3.0 допустимый ток питания доведён до 900 мА, при этом поддерживается схема управления питанием, которая включает три уровня. Они относятся к управлению питанием линий связи, USB-устройств и USB-функций. Согласно новой спецификации USB 3.0, порты Up Stream и Down Stream могут инициировать перевод линии в режим пониженного энергопотребления. Технология USB 3.0 позволяет решить проблему распознавания подключённых устройств с разряженными аккумуляторами и создавать эффективные системы зарядки аккумуляторов периферийных устройств. Такие системы могут производить зарядку даже при наличии хост-компьютера в режиме sleep. Все эти новые возможности технологии USB можно использовать для по-

вышения гибкости управления энергопотреблением встраиваемой системы и повышения надёжности системы питания.

При самостоятельной аппаратной реализации технологии USB Host во встраиваемой системе необходимо принимать во внимание, что хост должен выдавать как минимум 8 мА по шине VBUS. А так как важным достоинством технологии USB является возможность питания от хоста подключаемого оборудования с выдаваемым током до 500 мА, то не стоит исключать и эту возможность. Для этого следует обратить внимание на выбор правильных пределов напряжения на шине VBUS. Оно может не превышать 4,4 В, если выдаваемый ток будет не больше 100 мА, а вот для реализации полной возможности хоста с точки зрения питания (500 мА) это напряжение должно составлять 4,75 В. Необходимо также предусмотреть наличие развязывающего конденсатора ёмкостью не менее 120 мкФ для шины VBUS хоста и конденсатора ёмкостью в диапазоне 1,0..6,8 мкФ для шины VBUS устройств USB OTG.

### **СТАНДАРТ STACKABLEUSB И ПЛАТФОРМА INCA**

В рамках проекта StackableUSB, инициатором которого выступила компания Micro/sys, интерфейс USB 2.0 был адаптирован для применения в качестве системного интерфейса при построении стеков модулей на основе механической архитектуры, к которой привыкли создатели встроённых систем на основе стандартов семейства PC/104. Специально разработанный в рамках проекта StackableUSB разъём (рис. 2), обеспечивающий технологию подачи дифференциального сигнала интерфейса USB, имеет повышенную стойкость к вибрациям и ударным нагрузкам, которые могут возникнуть при эксплуатации встроённой системы в жёстких условиях.

Предложенный для модулей StackableUSB разъём и специальная адаптация возможностей технологии USB 2.0 обеспечивают широкий диапазон масштабирования стека: возможно использование до восьми периферийных плат расширения, стекируемых «вверх» от процессорного модуля и/или до восьми периферийных плат расширения, стекируемых «вниз» (всего до 16 периферийных модулей, подключаемых по интер-

фейсу USB без использования концентратора). При использовании плат-концентраторов (до 10 штук), стандартом StackableUSB обеспечивается поддержка до 76 периферийных модулей.

В спецификации StackableUSB поддерживаются все предусмотренные для технологии USB 2.0 режимы передачи данных: High-Speed, Full-Speed и Low-Speed, а также автоматическое определение параметров подключаемых USB-устройств и установка необходимых драйверов без участия человека. Стандартом StackableUSB обеспечиваются также возможности, не реализуемые в стандарте USB 2.0. Так, в части управления питанием расширен диапазон возможных токов питания периферийных модулей. Максимальная величина тока может составлять 930 мА на каждую плату (напомним, что стандарт USB 2.0 предусматривает возможность подачи лишь 500 мА на каждое устройство).

В числе первых изделий, выпущенных на основе нового стандарта StackableUSB, – три одноплатных контроллера – USB1132, USB1124 и USB1108. При подключении к цент-

ральному в стеке одноплатному компьютеру эти модули могут брать на себя ряд функций управления, не требующих слишком больших вычислительных ресурсов, обеспечивать функции аналого-цифрового преобразования сигналов, цифрового ввода/вывода, поддержки портов RS232 и таймерных функций. Среди StackableUSB-модулей форм-фактора PC/104 на рынке предлагаются также изделия, реализующие до 196 линий цифрового ввода/вывода с гальванической опторазвязкой. На основе предлагаемых модулей StackableUSB возможно расширение ресурсов памяти для хранения информации основных процессорных плат за счёт съёмного диска объёмом 16 Гб или «диска» твердотельной памяти объёмом 8 Гб.

Важным достоинством стандарта StackableUSB является возможность управления стоимостью модулей расширения в больших пределах, чем раньше. Это достигается за счёт более широкого распространения на рынке чипсетов и микроконтроллеров, поддерживающих технологию USB, и дешевизны этих микросхем по сравнению с микросхемами, поддерживаю-

щими технологии PCI Express и PCI. Свой вклад в управление ценой вносит и введение двух новых маленьких (в два и четыре раза меньших по площади) форм-факторов в стандарт StackableUSB, не только ориентированных на использование недорогих микроконтроллеров, но и позволяющих экономить на материале печатных плат и стоимости их производства.

Компанией Advantech интерфейс USB включён в число базовых, поддерживаемых новой вычислительной платформой INCA (Industrial and Network Computing Architecture – компьютерная архитектура для промышленных и сетевых приложений), которую предлагается развивать в рамках процедур «открытой» стандартизации как клон платформы MicroTCA.

Системный модуль этой платформы – PMCH, объединяющий функции системного контроллера платформы MicroTCA и центрального процессорного модуля, должен поддерживать в числе прочих возможностей USB-подключение на основе технологии plug-and-play. Этот же интерфейс, наряду с популярными PCI Express и Gigabit Ethernet, должен поддержи-

**CREE** LED Light

430 лм @ 350 мА    114 лм @ 350 мА    107 лм @ 350 мА    139 лм @ 350 мА

**Области применения светодиодов:**  
 архитектурная и ландшафтная подсветка,  
 системы общего освещения,  
 переносные прожекторы и фонари,  
 подсветка витрин и рекламных щитов,  
 уличное освещение.

**Ярче звезд**

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР CREE В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ**

**PROSOFT**<sup>®</sup>

Тел.: (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru • www.cree.ru

Реклама

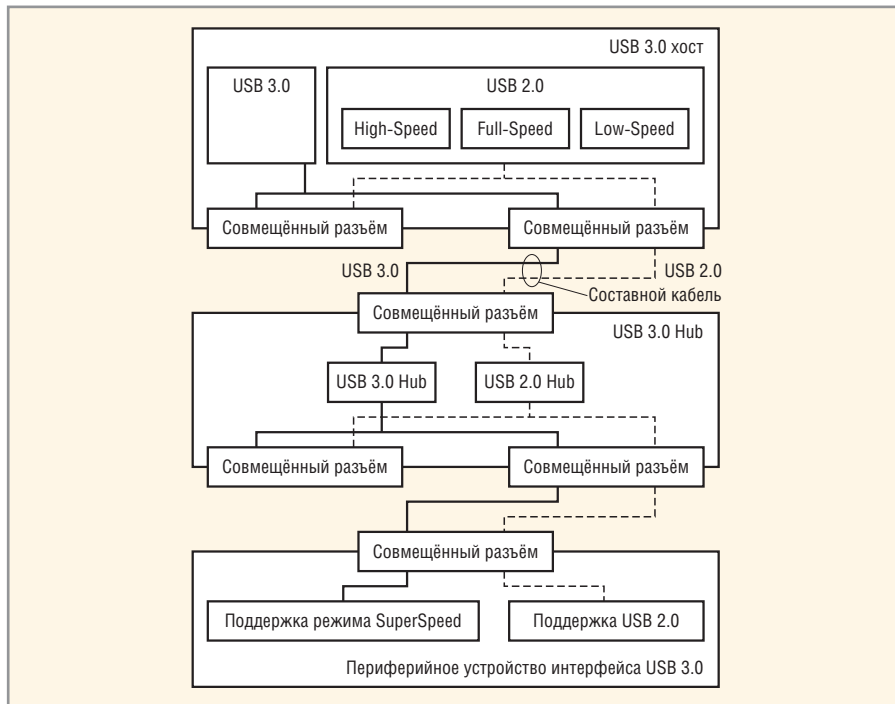


Рис. 3. Блок-схема интерфейса USB 3.0

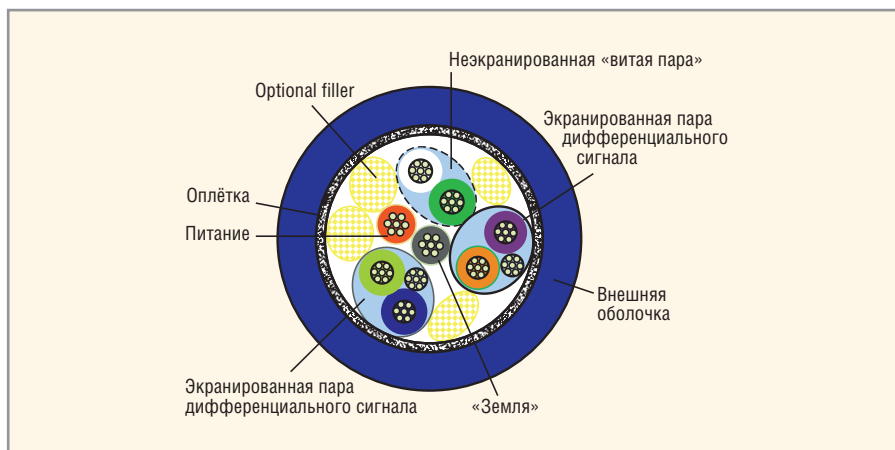


Рис. 4. Сечение кабеля для интерфейса USB 3.0

вать и упрощённые модули ввода/вывода, пассивно управляемые модулем PMCH, – модули LMC (Lean Mezzanine Card – упрощённый мезонин). По мнению авторов проекта нового стандарта, введение в состав архитектуры интерфейса USB позволяет ещё больше снизить стоимость системы и упростить миграцию на INCA-платформу. Технология USB оптимальна с точки зрения стоимости её использования. Микросхемы, поддерживающие этот интерфейс, достаточно дешёвы и выпускаются большим количеством вендоров. Рынок предлагает массу периферийных систем, поддерживающих подключение к USB-хосту, которые можно использовать в конструкции LMC-модулей. Технология USB в платформе INCA может обеспечить также наименее затратный путь добавления портов после-

довательной передачи данных в систему за счёт использования микросхем преобразования интерфейса USB с драйверами для всех наиболее распространённых операционных систем. Это открывает дорогу для упрощения интеграции USB-периферии (считывателей смарт-карт, модемов беспроводной связи и других устройств). Такая возможность особенно интересна для ситуаций, когда габариты таких периферийных устройств превосходят габариты LMC-модулей и когда такие устройства поставляются уже корпусированными и сертифицированы в таком виде.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ USB**

Спецификация USB 3.0 была закончена в ноябре 2008 г., а практические возможности устройств на основе это-

го стандарта были продемонстрированы в январе 2009 г. Технология USB 3.0 в демонстрационных образцах класса high end обеспечивала на прикладном уровне передачу данных со скоростями 300...350 Мб/с.

Интерфейс USB 3.0 по сути представляет собой два интерфейса – USB 2.0 и USB 3.0, которые работают параллельно. Реально в нынешней реализации эти интерфейсы разделены на уровне «кремния», разъёма и кабеля (рис. 3).

Контроллеры технологий USB 3.0 и USB 2.0 являются отдельными устройствами, и если устройство, поддерживающее технологию USB 2.0, подключить к разъёму USB 3.0, то оно будет взаимодействовать лишь с USB 2.0-контроллером. По этой причине устройства типа USB 3.0 Host и USB 3.0 Device полностью обратно совместимы со стандартом USB 2.0.

Разъём USB 3.0 включает в свою электрическую конструкцию пять дополнительных контактов. Расположение этих контактов таково, что при подключении в разъём USB 3.0 устройства на основе USB 2.0 задействованы будут только USB 2.0-контакты, а при подключении USB 3.0-устройства задействованы будут и USB 2.0-, и USB 3.0-контакты, обеспечивающие параллельную работу интерфейсов.

Для передачи USB 3.0-сигналов используется кабель на основе пяти жил, три из которых сами по себе имеют композитный состав: две трёхпроводные и одна двухпроводная (рис. 4). В разъёме для USB 3.0 появилось пять новых контактов (рис. 5).

К достоинствам технологии USB 3.0 относятся:

- использование протокола на основе управления прерываниями вместо технологии опроса устройств и использование коммуникаций точка–точка вместо широковещательной посылки данных всем подключённым устройствам;
- многоуровневая схема управления питанием;
- возросшая возможность запитывания устройств (ток до 900 мА).

По оценкам экспертов, к 2012 г. можно ожидать появления 500 млн. устройств, использующих технологию USB 3.0, а сама эта технология может стать катализатором появления новых приложений и продуктов для «цифрового» дома и систем хранения данных.

Хотя ещё рано давать надёжные оценки графика выхода технологии

USB 3.0 на потребительский рынок, скорость освоения интерфейса USB 3.0 на рынке встраиваемых систем может превысить темпы принятия её предыдущей версии. Свою роль в этом должна сыграть не только традиционная обратная совместимость, но и тесная генетическая связь с технологией PCI Express. При создании новой технологии для минимизации рисков проекта было решено использовать в качестве основы для USB 3.0 PHY стандарт физического уровня PCI Express (PCIe). На сегодняшний момент разработана спецификация PIPE (PHY Interface for PCI Express and USB SuperSpeed Architectures), описывающая стандартизованный интерфейс между реализациями MAC-уровня и PHY-уровня технологий PCIe Gen2 и USB 3.0.

Однако разработчикам встраиваемых систем, как и разработчикам компонентов, поддерживающих стандарт USB 3.0, придётся потрудиться и потратить для внедрения новой технологии. На первых порах большее значение может играть стоимость «кремния», который придётся изготавливать на основе технологии с проектной нормой

90 нм, тогда как микросхемы для USB 2.0 производятся по технологии с проектной нормой 180 нм. По некоторым оценкам, канал USB 3.0 будет стоить в пять раз дороже канала USB 2.0, потребляя при этом на 30...40% больше энергии, однако технология USB 3.0 превосходит USB 2.0 по показателю мВт/Тбит. Повышенное энергопотребление нового интерфейса, наряду с возможностью подачи по нему больших токов для питания периферийных устройств, требует подведения повышенного питания к порту. Необходимо также осваивать новые режимы управления питанием в технологии USB 3.0. Однако затраты окупятся сторицей. Использование USB 3.0 позволяет решить такую проблему пользователей технологии USB 2.0, как неспособность последней распознать устройства с разряженными аккумуляторами. Порт USB 3.0 способен сделать это. На основе USB 3.0 можно создавать более эффективные системы зарядки периферийных устройств. Так, представленная на Форуме Intel осенью 2009 г. микросхема PI5USB5X от компании Pericom Semiconductor для реализации USB-зарядника позволяет производить

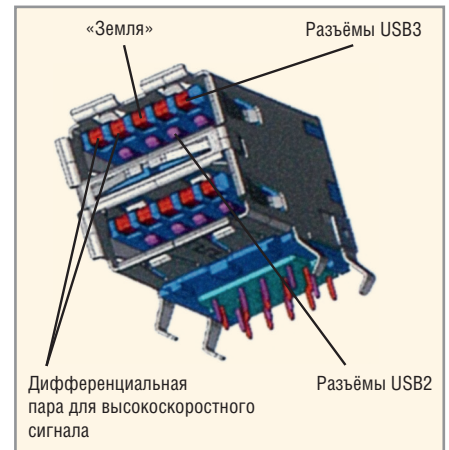


Рис. 5. Модельная конструкция разъёма для интерфейса USB 3.0

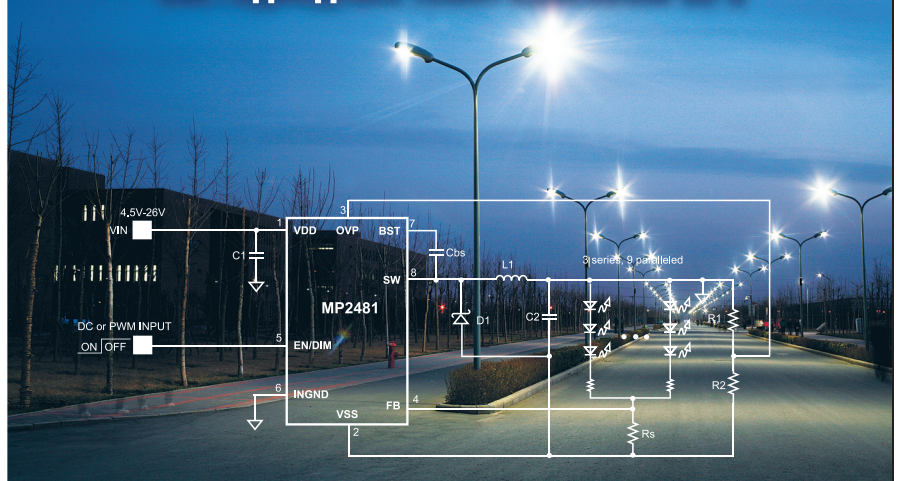
зарядку даже при нахождении компьютера в режиме sleep state.

При внедрении USB 3.0 необходимо учитывать и задержку по времени в поддержке этой технологии распространёнными операционными системами. На первых порах, если быстрое использование технологии USB 3.0 окажется критически важным, придётся использовать проприетарные или заказные программные продукты. ©



- Высокая стабильность и повторяемость характеристик микросхем
- Защита от перегрузки по току, напряжению и температуре
- Рабочее напряжение до 36 В
- Высокая эффективность до 95%
- Температурный диапазон эксплуатации -40°C ... +85°C
- Готовое изделие не требует регулировки

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИДНЫХ ЛАМП КОМПАНИИ MPS



Наименование	Рабочее напряжение, В	Максимальное количество светодиодов	Частота, МГц	Количество каналов	Корпуса
<b>MP2481</b>	4,5...36	36	1,4	9	MSOP8
MP2370	4,5...24	3	1,4	1	QFN16-3
MP3021	2,7...5,5	4	1,2	4	QFN16-3
MP3001	2,7...5,5	5	1,2	5	TSOT23-6
MP3202	2,5...6,0	39	1,3	13	QFN8-2
MP3302	2,5...6,0	27	1,3	9	TSOT23-5

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ MPS В РОССИИ



АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА  
Тел.: (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

Реклама

# Цифровой запоминающий осциллограф Auris B-424 с интерфейсами Ethernet и USB 2.0

Николай Левкович, Сергей Семенович, Игорь Стецко, Олег Тягунов (г. Минск, Беларусь)

В статье описан компьютерный цифровой запоминающий осциллограф с интерфейсами Ethernet и USB 2.0, высокой частотой выборок и большой встроенной памятью.

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

В последние годы широкое распространение приобрели цифровые осциллографы на базе компьютера, называемые также «виртуальными». За счёт максимально возможного использования аппаратных и программных ресурсов компьютера такие приборы имеют относительно низкую стоимость, высокую мобильность, легко адаптируются под различные измерительные задачи как самостоятельно, так и в составе измерительно-управляющих комплексов.

Важнейшей характеристикой любого виртуального измерительного прибора является используемый аппаратный компьютерный интерфейс, посредством которого осуществляется управление прибором и передача в компьютер измерительных данных. Вследствие этого с развитием компьютерной отрасли существенно видоизменяются и компьютерно-ориентированные приборы.

Так, появление интерфейса USB, обладающего свойствами plug-and-play (вставил и работай, без дополнительной настройки соединения) и hot plug (горячего подключения, без выключения питания при подключении), особенно его версии USB 2.0, обеспечивающей высокую скорость передачи данных, с одной стороны, а также широкое распространение ноутбуков, с другой сторо-

ны, привели к особой популярности виртуальных приборов, выполненных в виде приставки к компьютеру с интерфейсом USB. Такие устройства могут работать как со стационарными, так и с переносными компьютерами, удобны в обращении и обладают динамичной экранной графикой сигналов.

Однако интерфейс USB и, как следствие, виртуальные USB-приборы имеют определённые недостатки, которые в ряде применений могут оказаться критическими. Это – невозможность удалённой работы (только в радиусе полутора метров) и отсутствие гальванической развязки с компьютером (без применения дорогостоящих встроенных схемотехнических решений).

Отличным решением, свободным от указанных недостатков, является интерфейс Ethernet и реализованный на его основе виртуальный измерительный прибор. Гальваническая развязка (трансформаторная для проводного варианта интерфейса) – обязательный пункт спецификации Ethernet, возможность же организации удалённого соединения просто вне конкуренции: в пределах Internet, т.е. цивилизованного мира.

Ethernet-приборы пока что существенно меньше представлены на рынке измерительной техники. В значительной степени это определяется большим распространением, удобством и быстродействием интерфейса USB. Как правило, компьютер имеет только один разъём Ethernet (постоянно подключенный к локальной сети); интерфейс Ethernet требует от пользователя прибора определённой настройки; динамика интерактивного взаимо-

действия с прибором несколько уступает таковой для USB 2.0.

Хорошим решением, универсальным на сегодня с точки зрения интерфейса, является наличие в виртуальном приборе обоих интерфейсов, USB 2.0 и Ethernet, отлично дополняющих друг друга.

## ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ Auris B-424

В русле изложенных выше соображений был разработан широкополосный быстродействующий двухканальный цифровой запоминающий осциллограф Auris B-424 (рис. 1), имеющий интерфейсы USB 2.0 и Ethernet, а также встроенную память большой ёмкости.

Основные технические характеристики B-424:

- два измерительных канала с входным сопротивлением 1 МОм;
- входной тракт с полосой пропускания 0... 200 МГц;
- максимальная реальная частота выборок по каждому каналу 500 МГц;
- эквивалентная частота дискретизации для повторяющихся сигналов 10 ГГц;
- коэффициенты отклонения по вертикали 2 мВ/дел... 5 В/дел.;
- глубина встроенной памяти 16 мегавыборок на канал;
- коэффициенты развертки – 5 нс/дел... 5 с/дел.;
- соответствующие временные диапазоны – 0,8 мс... 230 ч;
- диапазон частот внутренней и внешней синхронизации 0,6 Гц... 200 МГц;
- тип входа синхронизации – комбинация откр./закр., ФНЧ/ФВЧ;
- предыстория и задержка запуска;
- дополнительные режимы запуска развертки:
  - по длительности импульса 20 нс... 4 с;
  - по интервалу между импульсами 40 нс... 4 с;
  - телевизионным сигналом PAL, SECAM, NTSC, с возможностью выделения заданной строки и поля;



Рис. 1. Осциллограф Auris B-424

- автоматические калибровка и поиск сигналов;
- временное или спектральное (БПФ) представление сигнала, амплитудное распределение, фигуры Лиссажу;
- автоматические и маркерные измерения более 20 параметров сигналов;
- встроенный блок питания от сети 230 В.

Программное обеспечение осциллографа В-424, ориентированное на ОС Windows, обладает высокими функциональностью, информативностью и эргономичностью (рис. 2).

Измеряемые сигналы в псевдореальном режиме времени успевают пройти достаточно сложную математическую обработку, прежде чем будут выведены на экран (и при желании зарегистрированы) в одном из следующих видов:

- во временном представлении (в виде классической осциллограммы);
- в частотном представлении (в виде спектра БПФ);
- в виде фигур Лиссажу;
- в виде амплитудного распределения;
- в цифровом виде.

Причём все – с хорошей динамикой обновления данных (которая зависит от заданных установок измерительных режимов и производительности управляющего компьютера). А также – одновременно в нескольких либо даже во всех представлениях, что наглядно продемонстрировано на рис. 2. В цифровом виде могут быть выведены более 20 параметров, выбранных пользователем, автоматически выделяемых и обсчитываемых программно-математическим обеспечением компьютера. Часть из них – в виде крупных цифровых табло, остальные – в виде таблицы с динамически изменяемым содержанием.

Глубокая память осциллографа (более 16,7 млн. отсчётов для каждого из измерительных каналов) позволяет, например, регистрировать однократные сигналы с максимальной частотой дискретизации 500 Мвыборок/с длительностью более 32 мс (с минимальной частотой дискретизации около – 10 суток) либо при исследовании сигналов в частотном представлении достигать широкого динамического диапазона и высокого частотного разрешения (например, от 15 Гц до 250 МГц с разрешением 15 Гц).

Предыстория сигнала может быть установлена на всю глубину памяти.

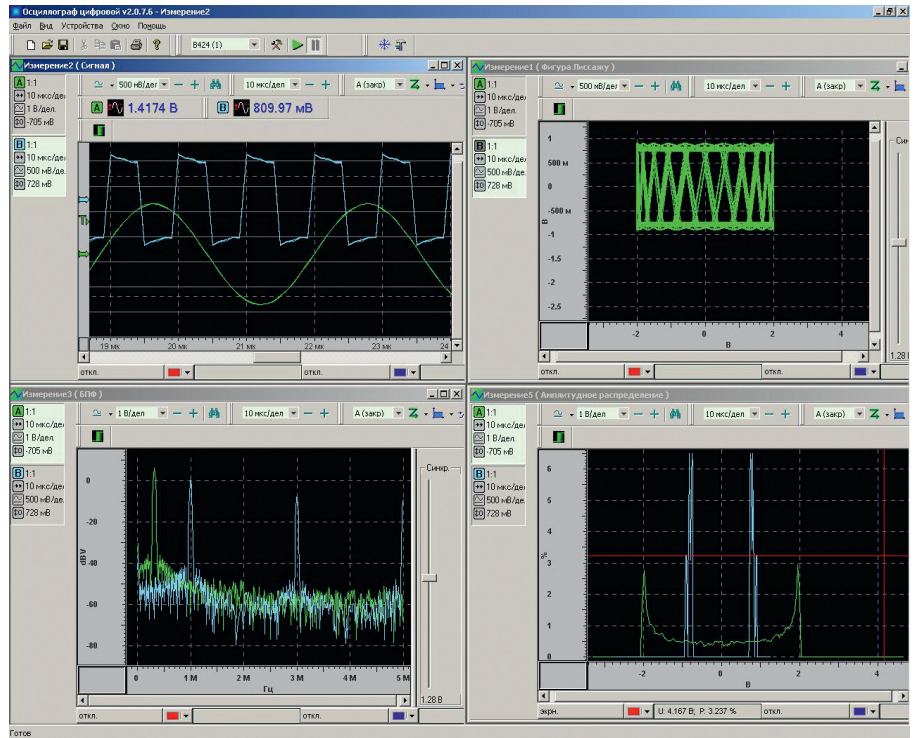


Рис. 2. Экран программы осциллографа

Задержка же запуска (постистория) – на величину до 255 глубин памяти.

Автоматический поиск сигнала существенно облегчает удобство работы оператора, почти мгновенно определяя установки вертикальной и горизонтальной развёрток каналов, близкие к оптимальным.

Встроенный прецизионный калибратор позволяет обеспечивать высокие амплитудные метрологические характеристики прибора.

Цифровой осциллограф В-424, сочетая в себе высокие метрологические и функциональные аппаратные характеристики, два взаимодополняющих компьютерных интерфейса и интеллектуально насыщенное программное обеспечение при невысокой стоимости, является универсальным и сбалансированным решением, позволяющим эффективно охватить разнообразные измерительные задачи.



## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Измерительные комплексы, цифровые осциллографы, генераторы сигналов произвольной формы, логические анализаторы / генераторы, вибро-акустические измерители / анализаторы, измерители температуры, давления, деформаций, шероховатости

Ethernet USB PCI WiFi Bluetooth

## КОНТРАКТНАЯ РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОНИКИ И ПРОГРАММ

WWW.AURIS.RU

# Самосинхронизирующиеся коды и их преобразователи

(часть 5)

**Сергей Гончаров, Геннадий Шишкин (Нижегородская обл.)**

**Рассмотрены способы построения и схемотехнические решения кодирующих и декодирующих устройств самосинхронизирующегося фазоманипулированного кода.**

Для передачи информации по последовательным каналам связи широко используются униполярные самосинхронизирующиеся коды, которые не требуют дополнительных линий связи для тактовых сигналов.

Одним из способов построения самосинхронизирующихся кодов является увеличение скорости передачи сигналов по сравнению со скоростью передачи информации (введение сигнальной избыточности). Наиболее известными типами построенных таким образом кодов являются фазоманипулированный и частотно-манипулированный коды [1].

При использовании фазоманипулированного кода (ФМ-кода) лог. 1 представляется отрицательным перепадом сигнала в середине тактового интервала, а лог. 0 – положительным перепадом сигнала. При этом информационный перепад сигнала в середине тактового интервала является обязательным. Тактовый перепад сигнала в начале тактового интервала формируется только в том случае, когда в предыдущем и последующем тактах присутствует одинаковая информация. При этом если в обоих тактах передаётся лог. 0, формируется отрицательный перепад сигнала,

а при передаче лог. 1 – положительный перепад сигнала. Следовательно, тактовый перепад сигнала является необязательным и может иметь любое из двух направлений. При этом максимальное расстояние между перепадами сигнала не превышает длительности  $T$  тактового интервала.

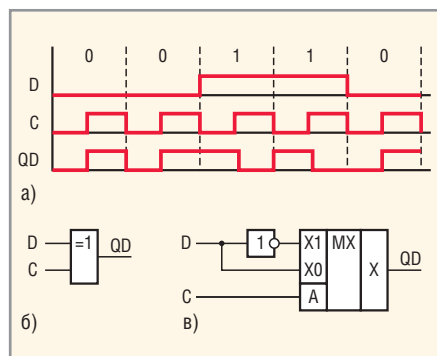
Способ формирования ФМ-кода иллюстрирует рисунок 1а, где  $D$  – входной двоичный код,  $C$  – тактовые импульсы,  $QD$  – выходной ФМ-код. Формирователь ФМ-кода может быть построен на основе логического элемента «исключающее ИЛИ» в соответствии с рисунком 1б или на основе мультиплексора в соответствии с рисунком 1в [2]. Недостатком представленных схем является возможность формирования на выходе помех в случае относительного смещения фронтов входного кода и тактовых импульсов.

В кодирующем устройстве на основе элемента «исключающее ИЛИ» исключение помех может быть достигнуто при построении схемы в соответствии с рисунком 2а. Временные диаграммы сигналов в различных точках схемы приведены на рисунке 2б. Период повторения импульсов задающего генератора на входе  $G$  равен длительности

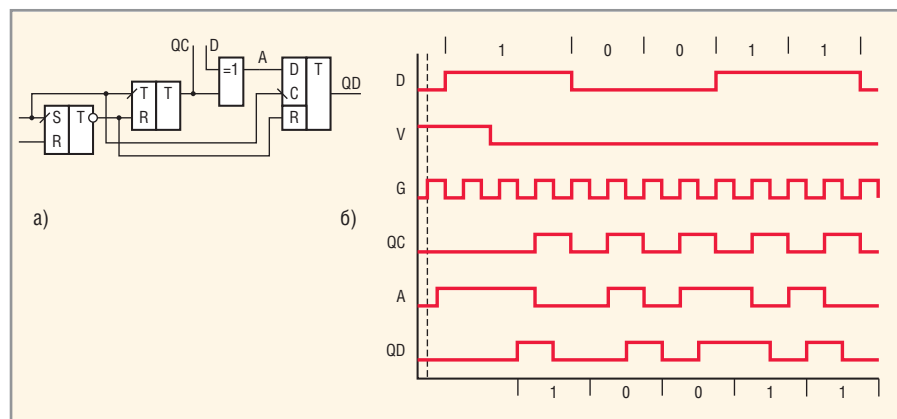
тактового импульса. В режиме ожидания все триггеры удерживаются в лог. 0 сигналом на управляющем  $V$ -входе. На выходах  $QC$  и  $QD$  присутствует лог. 0, на  $D$ -входе устройства может присутствовать лог. 1 первого разряда входного кода, который без изменения проходит в точку  $A$ .

При поступлении разрешающего сигнала на  $V$ -вход, ближайшим положительным перепадом импульса генератора переключается RS-триггер и разрешает переключение счётного и  $D$ -триггера. Затем отрицательным перепадом импульса генератора  $D$ -триггер переключается в лог. 1, а положительным перепадом переключается счётный триггер, формируя на выходе  $QC$  положительный перепад тактового импульса и изменяя сигнал в точке  $A$ . Следующим отрицательным перепадом  $D$ -триггер переключается в лог. 0, формируя на выходе  $QD$  отрицательный перепад напряжения, соответствующий лог. 1 ФМ-кода. Положительный перепад сигнала генератора переключает счётный триггер, заканчивая тактовый импульс на выходе  $QC$  и вызывая сдвиг информации на  $D$ -входе. Далее формирование ФМ-кода происходит аналогичным образом в соответствии с рисунком 2б;  $D$ -триггер работает в режиме задержки входного информационного сигнала на величину длительности импульса генератора.

Схема кодирующего устройства, аналогичная рисунку 2а, может быть построена



**Рис. 1. Формирователи ФМ-кода**  
(а) временные диаграммы ФМ-кода,  
(б, в) – варианты схемной реализации формирователей ФМ-кода



**Рис. 2. Кодирующее устройство ФМ-кода на основе элемента «исключающее ИЛИ»**  
(а) схема кодирующего устройства, (б) временные диаграммы ФМ-кода

роена на основе JK-триггера в соответствии с рисунком 3а. При этом учитывается, что информационные перепады в ФМ-коде обязательны, а уровень сигнала в первой половине тактового интервала совпадает с уровнем входного сигнала. В режиме ожидания RS-триггер, а следовательно, счётный и JK-триггер, удерживаются в состоянии лог. 0 сигналом лог. 1 по V-входу. На выходах QC и QD присутствует лог. 0. При этом на JK-входах присутствует лог. 1. На G-вход поступают импульсы задающего генератора, период повторения которых равен длительности тактового импульса. Временные диаграммы сигналов в различных точках показаны на рисунке 3б.

При поступлении разрешающего сигнала по V-входу ближайшим положительным перепадом импульса генератора переключается RS-триггер и разрешает переключение счётного и JK-триггера. Отрицательным перепадом импульса переключается счётный триггер, формируя положительный перепад тактового импульса на выходе QC. При этом на D-вход продвигается информация первого разряда входного кода, например, в виде лог. 1, а на K-входе JK-триггера устанавливается лог. 0. Поэтому положительным перепадом следующего импульса генератора JK-триггер переключается в лог. 1. Отрицательным перепадом данного импульса переключается счётный триггер, формируя отрицательный перепад тактового импульса и восстановление лог. 1 на K-входе JK-триггера.

Положительным перепадом следующего импульса JK-триггер переключается, формируя информационный перепад лог. 1 ФМ-кода на выходе QD. Отрицательный перепад данного импульса переключает счётный триггер, формируя положительный перепад тактового импульса, вызывающего продвижение информации второго разряда входного кода на вход D, и создавая лог. 0 на K-входе JK-триггера. Далее устройство работает аналогичным образом в соответствии с рисунком 3б. Информационные перепады выходного кода формируются JK-триггером в счётном режиме, а тактовые перепады лишь подготавливают направление информационных перепадов.

Исключение помех на выходе QD в описанных выше схемах (см. рис. 2а и 3а) достигается разнесением во времени моментов формирования фронтов тактовых импульсов и перепадов на-

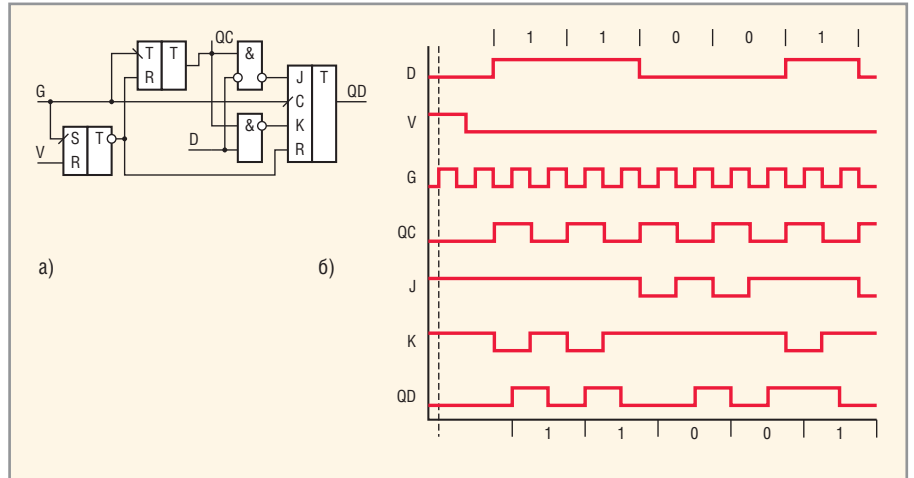


Рис. 3. Кодирование ФМ-кода на основе JK-триггера

(а) схема кодирующего устройства, (б) временные диаграммы

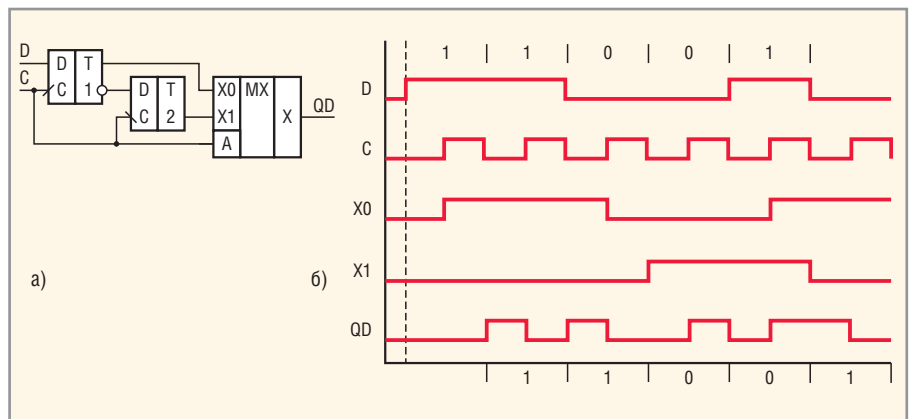


Рис. 4. Кодирование ФМ-кода на основе мультиплекера

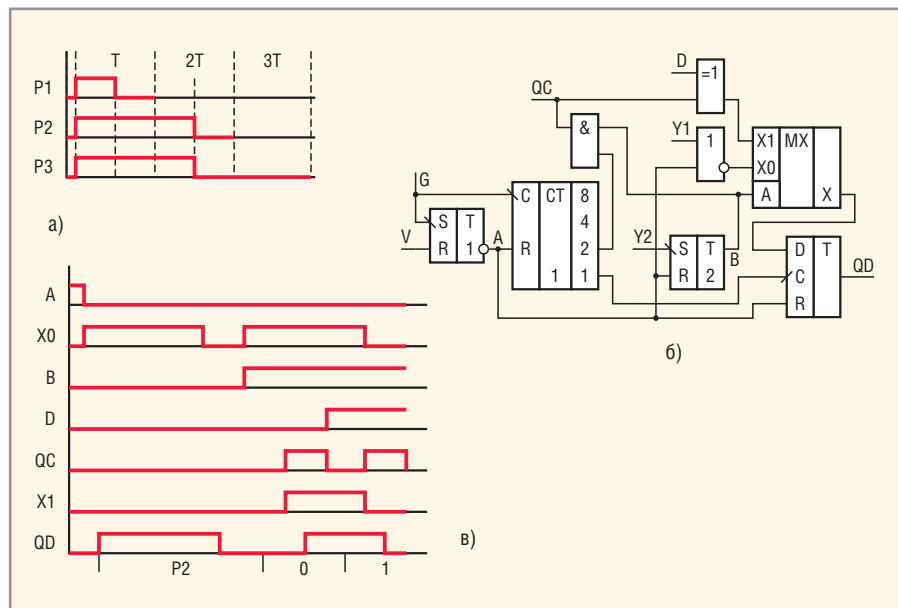
(а) схема кодирующего устройства, (б) временные диаграммы

пряжения выходного ФМ-кода. Аналогичным образом исключение помех может быть достигнуто при построении кодирующего устройства на основе мультиплекера. Однако в последнем случае исключение помех может быть достигнуто также при построении кодирующего устройства в соответствии с рисунком 4а. Соответствующие временные диаграммы сигналов в различных точках схемы приведены на рисунке 4б.

В режиме ожидания на тактовом (C) и информационном (D) входах присутствует лог. 0. Триггеры установлены в лог. 0. На выход QD проходит лог. 0 с входа X0 мультиплекера. При поступлении на D-вход, например, лог. 1 состояние схемы не изменяется. По положительному перепаду первого тактового импульса мультиплексор подключает на выход лог. 0 со входа X1. Одновременно переключается первый триггер, формируя лог. 1 на входе X0 мультиплекера. По отрицательному перепаду первого тактового импульса сигналом с инверсного выхода первого триггера подтверждается исходное

состояние второго триггера, а мультиплексор подключает к выходу лог. 1 первого триггера.

По положительному перепаду второго тактового импульса мультиплексор подключает на выход лог. 0 со входа X1, формируя отрицательный перепад, соответствующий лог. 1 входного кода. Одновременно переключается первый триггер в состояние, соответствующее второму разряду входного кода. По отрицательному перепаду второго тактового импульса сигналом с инверсного выхода первого триггера переключается второй триггер, а мультиплексор подключает к выходу сигнал первого триггера. Далее устройство работает аналогичным образом, формируя на выходе задержанный на один тактовый интервал ФМ-код, соответствующий входному коду. Первый и второй D-триггеры в данной схеме работают в режиме регистра сдвига с двухтактным управлением положительным и отрицательными фронтами тактового импульса. Для исключения помех мультиплексор всегда отключает выход QD от переключаемого триггера. При этом



**Рис. 5. Кодировочное устройство ФМ-кода**

(а) временные диаграммы реализации признака начала кода, (б) схема формирования признака начала кода, (в) временные диаграммы работы кодировочного устройства

быстродействие мультиплексора должно быть не хуже быстродействия триггера.

Из рисунка 1а следует, что тактовый перепад не формируется в начале информационной посылки, если в первом такте передаётся информация лог. 0, что не позволяет в этом случае определить начало кодовой последовательности. Указанное свойство ФМ-кода требует для формирования тактового перепада передачу признака начала кодовой последовательности, например, в виде лог. 1 или специального сигнала, временные параметры которого отличаются от параметров ФМ-кода. В последнем случае обеспечивается надёжная обработка информации при её непрерывном поступлении, особенно с переменной длительностью информационных посылок.

Простейшие варианты реализации признака начала кода показаны на рисунке 5а. При этом сигнал P1 является лог. 1 и занимает один тактовый интервал T; длительность импульса равна длительности паузы. Сигнал P2 занимает два тактовых интервала, а длительность импульса, в отличие от ФМ-кода, – полтора тактовых интервала.

Сигнал P3 имеет два отличительных признака и занимает три тактовых ин-

тервала, а длительность паузы и длительность импульса – по 1,5 тактовых интервала.

При использовании в качестве признака начала кода сигнала P1 можно формировать дополнительный сигнал лог. 1 нулевого разряда в начале каждой информационной посылки, поступающей на вход кодировочного устройства. При этом может использоваться любое из кодировочных устройств (см. рис. 2а, 3а или 4а).

Кодировочное устройство ФМ-кода со схемой формирования признака начала кода приведено на рисунке 5б. Способ подключения входов Y1 и Y2 схемы к выходам счётчика импульсов для формирования выбранного признака начала кода определяется таблицей 1, где цифры 2, 4 и 8 обозначают выходные сигналы соответствующих разрядов счётчика.

Работа устройства при формировании сигнала P2 поясняется временными диаграммами на рисунке 5в, где X0 и X1 – входы мультиплексора.

В режиме ожидания на управляющем V-входе присутствует лог. 1, удерживающая первый RS-триггер, а следовательно, и второй RS-триггер, D-триггер и счётчик импульсов в лог. 0. На информационном D-входе, на тактовом (QC) и информационном (QD) выходах присутствует лог. 0. На G-вход поступают импульсы задающего генератора, период повторения которых равен T/4.

При поступлении на V-вход лог. 0 первый RS-триггер ближайшим отри-

цательным фронтом импульса генератора переключается в лог. 1, разрешая переключение счётчика и остальных триггеров. Одновременно лог. 0 с инверсного выхода первого RS-триггера вызывает переключение элемента ИЛИ-НЕ в лог. 1, которая со входа X0 мультиплексора поступает на информационный вход D-триггера.

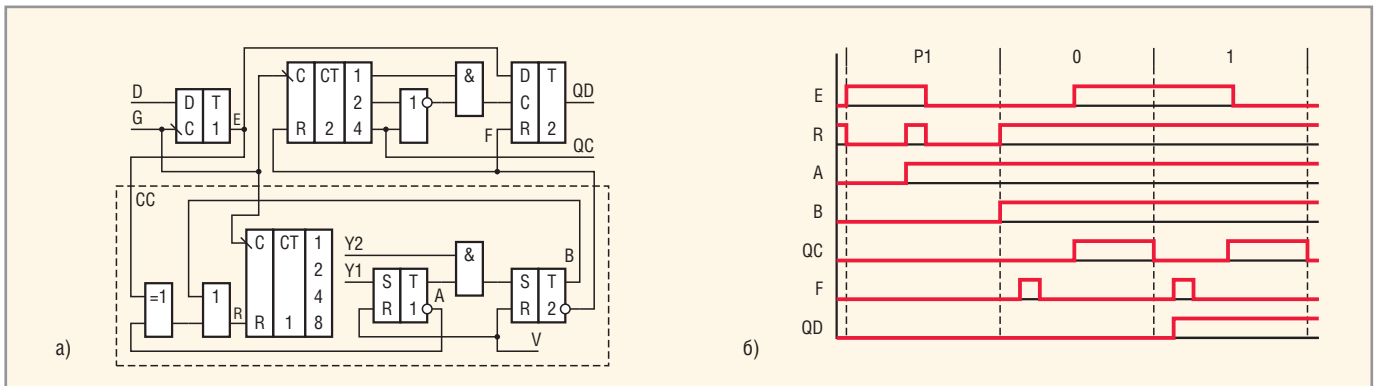
Далее счётчик начинает переключаться по отрицательному фронту входных импульсов. Ближайшим положительным фронтом с выхода первого разряда счётчика D-триггер переключается в лог. 1, формируя положительный перепад напряжения на выходе QD. При переключении счётчика на выходе второго разряда формируются импульсы с периодом повторения, равным тактовому интервалу. Через 1,5 тактовых интервала второй разряд счётчика переключается в лог. 1, которая проходит на вход Y1, вызывая переключение элемента ИЛИ-НЕ в лог. 0. Уровень лог. 0 со входа X0 мультиплексора поступает на информационный вход D-триггера, который (с задержкой на период повторения входных импульсов) переключается в лог. 0, вызывая окончание положительного импульса сигнала P2 на выходе QD.

Через два тактовых интервала переключается в лог. 0 третий разряд счётчика, вызывая переключение второго RS-триггера в лог. 1, которая разрешает прохождение импульсов с выхода второго разряда счётчика через элемент И на выход QC и на вход элемента «исключающее ИЛИ». Одновременно второй RS-триггер переключает мультиплексор, запрещая прохождение на информационный вход D-триггера сигнала P2 и разрешая прохождение сигналов с выхода элемента «исключающее ИЛИ», формирующего ФМ-код в соответствии с рисунком 1а с помощью сигнала QC. Сигнал QC определяет также моменты смены информации на D-входе. При этом моменты смены информации на выходе QD задержаны относительно фронтов сигналов на выходах элементов ИЛИ-НЕ и «исключающее ИЛИ», что гарантирует отсутствие помех на выходе устройства.

Таким образом, представленное устройство обеспечивает формирование выбранного варианта признака начала кода и преобразование входного двоичного кода в ФМ-код с исключением влияния состязаний фронтов на сигналы по выходу QD.

**Таблица 1. Способ подключения входов Y1 и Y2 к выходам счётчика импульсов (см. рис. 5б)**

УП	P1	P2	P3
Y1	2	2\$4	2\$4
Y2	2	4	4\$8



**Рис. 6. Декодирующее устройство с анализом уровня входного сигнала**  
 (а) схема декодирующего устройства, (б) временные диаграммы декодирующего устройства

При построении декодирующих устройств ФМ-кода необходимо обеспечить привязку принимаемой информации к внутренней шкале времени по первому тактовому перепаду, создаваемому признаком начала кода. В качестве признаков передаваемой в каждом такте информации можно использовать не только направление перепада сигнала в середине тактового интервала, но и уровень сигнала в первой половине тактового интервала, всегда совпадающий с передаваемой информацией.

Декодирующее устройство с формированием выходного кода по результатам анализа логического уровня входного сигнала в первой половине каждого тактового интервала показано на рисунке 6а, где СС – схема селекции признака начала кода. Способы формирования сигналов на входах Y1 и Y2 для селекции выбранного варианта признака начала кода приведены в таблице 2, где 1, 2, 4, 8, 16 – выходные сигналы соответствующих разрядов первого счётчика. Временные диаграммы сигналов в различных точках схемы при использовании

признака начала кода P1 приведены на рисунке 6б.

В исходном состоянии первый D-триггер поддерживается в лог. 0 сигналом по D-входу с помощью импульсов задающего генератора, поступающих на G-вход с периодом повторения  $T/8$ . Первый и второй RS-триггеры установлены в лог. 0 внешним сигналом по V-входу. При этом второй D-триггер и второй счётчик удерживаются в лог. 0 сигналом с инверсного выхода второго RS-триггера, а сигнал с инверсного выхода первого RS-триггера через элементы «исключающее ИЛИ» и

Увидеть больше

Миниатюрный модуль

SHARP

2 Мпкс с автофокусом

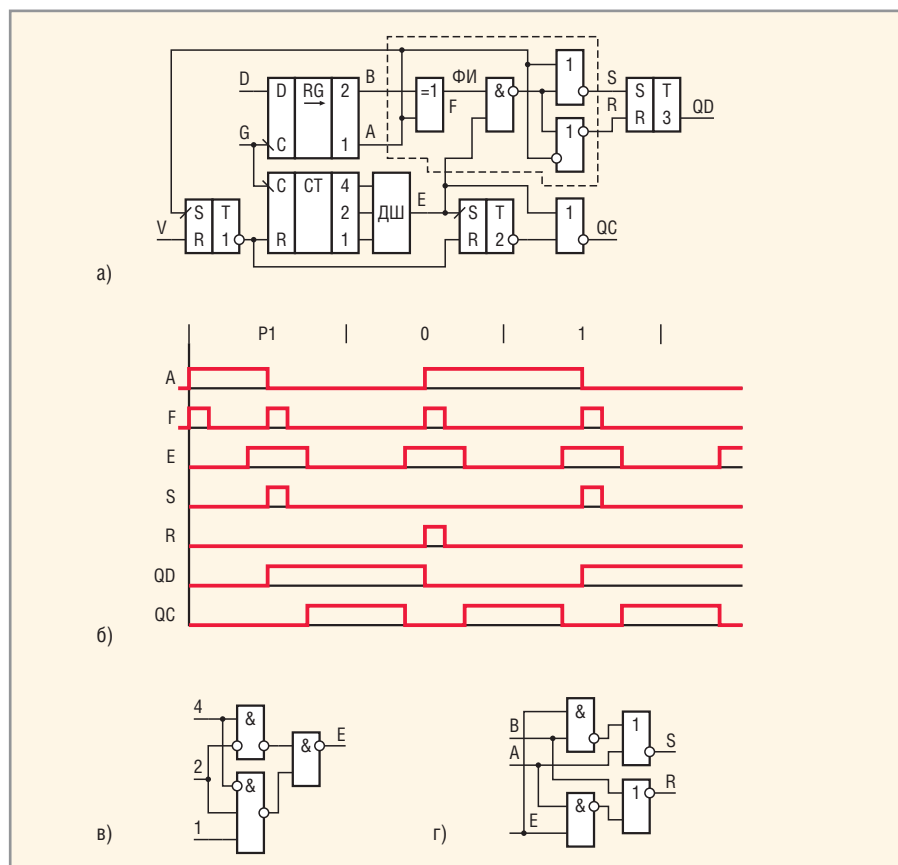
Применение:

- IP-видеонаблюдение** (системы охраны)
- Автомобильные видеорегистраторы**
- WEB-камеры**
- Смартфоны, коммуникаторы**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР SHARP НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И СТРАН СНГ

PROSOFT®

Тел.: (495) 232-25-22 • E-mail: info@prochip.ru • Web: prochip.ru



**Рис. 7. Декодирующее устройство с анализом перепада сигнала**

(а) схема декодирующего устройства, (б) временные диаграммы декодирующего устройства, (в) схема дешифратора ДШ, (г) вариант схемы формирователя импульсов

ИЛИ проходит на R-вход первого счётчика, удерживая его в лог. 0. На тактовом (QC) и информационном (QD) выходах присутствует лог. 0.

При поступлении на D-вход сигнала лог. 1 первый D-триггер переключается в лог. 1 отрицательным фронтом импульса генератора и далее отслеживает состояние сигнала на D-входе. Положительный перепад сигнала с выхода первого D-триггера поступает на вход элемента «исключающее ИЛИ» и переключает его в состояние лог. 0, разрешающее переключение первого счётчика.

После переключения первого и второго разрядов счётчика в лог. 1 третьим импульсом генератора первый RS-триггер устанавливается в лог. 1, разрешающую прохождение сигнала со входа Y2 через элемент И. Одновременно лог. 0 с инверсного выхода первого RS-триггера поступает на вход элемента «исключающее ИЛИ», пере-

ключая его в лог. 1, которая проходит на R-вход первого счётчика, устанавливая его в лог. 0.

После этого положительный импульс на D-входе устройства заканчивается, и первый D-триггер четвёртым импульсом генератора устанавливается в лог. 0, переключая элемент «исключающее ИЛИ» в лог. 0 и разрешая переключение первого счётчика. Затем третий разряд первого счётчика восьмым импульсом генератора в конце первого тактового интервала переключается в лог. 1, которая проходит через элемент И, переключая в лог. 1 второй RS-триггер. Уровень лог. 1 с его прямого выхода проходит через элемент ИЛИ на R-вход первого счётчика, блокируя его в состоянии лог. 0, а лог. 0 с его инверсного выхода поступает на R-входы второго счётчика и второго D-триггера, разрешая их переключение и формирование сигналов на выходах QC и QD.

Контроль признаков начала кода P2 и P3 производится схемой селекции аналогичным образом. При этом первый RS-триггер переключается одиннадцатым импульсом, а второй RS-триггер шестнадцатым импульсом при контроле P2 и двадцать четвёртым им-

пульсом при контроле P3 после промежуточного обнуления первого счётчика.

Далее производится преобразование входного кода. Для этого второй счётчик с помощью дешифратора формирует в начале каждого тактового интервала (с задержкой на период повторения импульсов генератора) опросный импульс с длительностью в один период повторения импульсов генератора, который поступает на тактовый вход второго D-триггера и вызывает установку его в состояние, соответствующее уровню сигнала на D-входе устройства, формируя сигналы на информационном выходе QD. Тактовые импульсы на выходе QC формируются третьим разрядом первого счётчика. После приёма всех разрядов информационной посылки устройство устанавливается в исходное состояние положительным импульсом по V-входу.

Из рисунка ба видно, что реализация схемы селекции признака начала кода требует существенных схемных затрат даже при использовании признака начала кода P1, совпадающего по структуре с лог. 1 ФМ-кода. Уменьшение затрат может быть достигнуто при восприятии P1 как дополнительного (нулевого) разряда ФМ-кода с формированием соответствующих сигналов на выходах QC и QD, которые – после контроля поступления – могут быть проигнорированы при дальнейшей обработке информации, например, путём записи информации в регистр сдвига, количество разрядов которого равно количеству информационных разрядов входного кода.

Пример схемной реализации соответствующего декодирующего устройства, использующего в качестве признака передаваемой в каждом такте информации полярность перепада сигнала в середине тактового интервала, представлен на рисунке 7а. Временные диаграммы сигналов в различных точках схемы приведены на рисунке 7б.

В исходном состоянии первый RS-триггер установлен в лог. 0 сигналом по V-входу и удерживает в лог. 0 счётчик импульсов и второй RS-триггер. Регистр сдвига установлен в лог. 0 сигналом лог. 0 по D-входу с помощью импульсов задающего генератора, поступающих на G-вход с периодом повторения T/8. На выходе QC присутствует лог. 0. Третий RS-триггер может на-

**Таблица 2. Способы формирования сигналов на входах Y1 и Y2 (см. рис. 6а)**

УП	P1	P2	P3
Y1	1\$2	1\$2\$8	1\$2\$8
Y2	4	4	4\$8

ходиться в любом состоянии; при необходимости он может быть установлен в лог. 0 сигналом с инверсного выхода первого RS-триггера.

При поступлении на D-вход устройства лог. 1 нулевого разряда первый разряд регистра по отрицательному фронту импульса генератора переключается в лог. 1 и устанавливает в лог. 1 первый RS-триггер, сигнал с инверсного выхода которого разрешает переключение счётчика импульсов и второго RS-триггера. При дальнейшем переключении регистра элемент «исключающее ИЛИ» формирователя импульсов (ФИ) формирует в точке F импульсы положительной полярности длительностью, равной периоду повторения импульсов задающего генератора, по каждому из перепадов сигнала на D-входе.

Счётчик импульсов с помощью дешифратора ДШ, схема которого приведена на рисунке 7в, формирует стробирующие импульсы, позволяющие выделить с помощью элемента И-НЕ из всех импульсов в точке F импульсы, соответствующие информационным перепадам. Указанные импульсы, в зависимости от полярности перепада, на-

правляются сигналом с выхода первого разряда регистра с помощью элементов ИЛИ-НЕ на соответствующий вход третьего RS-триггера, формируя информацию на выходе QD. По переднему фронту первого стробирующего импульса второй RS-триггер переключается в лог. 1 и разрешает формирование на выходе QC тактовых импульсов положительной полярности.

На рисунке 7г показан другой вариант схемы формирователя импульсов без использования элемента «исключающее ИЛИ». При необходимости в схеме рис. 7а вместо первого RS-триггера может быть использована схема селекции признака начала кода, представленная на рисунке 6а, а в схеме рис. 6а вместо схемы селекции – RS-триггер аналогично рисунку 7а.

Описание работы декодирующих устройств, построенных по схемам рис. 6а и 7а, приведено для случая, когда длительность тактового интервала  $T_k$  кодирующего устройства равна длительности тактового интервала  $T$  декодирующего устройства. При неравенстве указанных интервалов возможно смещение импульсов в точке F относительно импульсов в точке E. Для нор-

мального функционирования предложенных устройств необходимо, чтобы указанное смещение не превышало периода повторения импульсов задающего генератора  $T/8$  декодирующего устройства в течение всей информационной посылки с признаком начала кода. Следовательно, должно выполняться условие  $|T - T_k|/T < 1/8n$ , где  $n$  – суммарное количество тактовых интервалов.

При использовании восьми информационных разрядов и признака начала кода  $P_3 n = 11$ , тогда  $|T - T_k|/T < 1/88 > 1\%$ . Выполнение указанного условия не вызывает затруднений при использовании кварцевых задающих генераторов. При необходимости количество информационных разрядов может быть увеличено по меньшей мере на порядок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник. Радио и связь, 1990.
2. Климов В.П., Казанов И.М., Вишняков И.Л. Кодирование устройств оптических каналов. В сб. Электронная техника в автоматике. Радио и связь, 1985. Вып. 16. С. 257–264. ©



**CRANE**  
AEROSPACE & ELECTRONICS



**interpoint**  
A SPACE DC COMPANY

# ЭНЕРГИЯ КОСМОСА!

**Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи Interpoint**



- Многообразие вариантов конструктивного исполнения
- Рабочий диапазон температур от -55 до +125°C
- Высокая радиационная стойкость до 300 крад
- Удельная мощность свыше 5000 Вт/дм³
- Выходная мощность от 1,5 до 100 Вт
- Входные напряжения: 16...40 В и 160...400 В постоянного тока
- Выходные напряжения: 1,5; 2,5; 3,3; 5; 12; 15; ±5; ±12; ±15; +5/±12; +5/±15 В
- Выходной контроль по MIL-STD-883 и MIL-PRF-38534

Реклама

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ КОМПАНИИ INTERPOINT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ**



**PROSOFT**

**МОСКВА** Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**С.-ПЕТЕРБУРГ** Телефон: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**САМАРА** Телефон: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**НОВОСИБИРСК** Телефон: (383) 202-0960; 335-7001; 335-7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**КИЕВ** Тел.: (+380-44) 206-2343; 206-2478; 206-2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru

# Генератор синусоидального напряжения на микросхеме DDS

Валентин Сокол (Московская обл.)

**В статье описан генератор, в котором использован метод вычисления шестнадцатеричного кода загрузки микросхемы DDS с помощью накапливающего сумматора на ПЛИС. Периодическая коррекция суммы, осуществляемая в процессе вычисления, позволяет получить приемлемую погрешность установки выходной частоты генератора.**

Описываемый генератор вырабатывает синусоидальные колебания в диапазоне от 1 Гц до 2047,999 кГц с дискретностью установки частоты 1 Гц. В указанном диапазоне генератор обеспечивает амплитуду выходного сигнала около 1 В на нагрузке 75 Ом.

Микросхема DDS (прямой цифровой синтез) типа AD9830 при хороших выходных параметрах допускает только 5-вольтовое питание, поэтому является совместимой с ПЛИС Altera EP7128SLC84-15. Последняя выполняет расчёт и загрузку в DDS шестнадцатеричного кода. Сам метод вычисления прост: берём фрагмент кода 1 МГц, 1 кГц или 1 Гц и складываем его в накапливающем сумматоре столько раз, сколько задано двоично-десятичным кодом частоты. Для упрощения схемы это можно сделать отдельно, используя один сумматор и переключая константу на его параллельном входе. Однако удобнее, чтобы констан-

та была целым числом. Но это является проблемой. Дело в том, что значение константы зависит и от опорной частоты синтезатора. Получить целочисленное значение для фрагментов единиц или десятых долей герц в принципе возможно, если выбрать опорную частоту равной 42,94967296 МГц, но где взять такой генератор? Здесь автору пришлось проявить изобретательность.

Выходная частота AD9830 определяется основным уравнением:

$$F_{\text{вых}} = K F_{\text{mclk}} / 4294967296,$$

где  $K$  – код загрузки,  $F_{\text{mclk}}$  – опорная частота, число 4294967296 равно  $2^{32}$ . Источником  $F_{\text{mclk}}$  в устройстве служит кварцевый генератор с частотой 32 768 кГц ( $2^{15}$  кГц). При этой частоте фрагмент кода 1 кГц будет целым числом (равным 131 072, или 20 000 hex).

Фрагмент кода 1 Гц для выбранной  $F_{\text{mclk}}$  равен 131,072, или, округлённо,

83 hex. Ошибка округления при задании частоты, например, 999 Гц, приведёт к погрешности выходной частоты 0,55 Гц. Чтобы решить эту проблему и обеспечить точность установки не хуже 0,1 Гц, автор применил периодическую коррекцию кода, осуществляемую в процессе суммирования. Дополнительная единица вводится по входу переноса сумматора на каждом 14-м такте ( $999/072 = 13,8$ ). При такой коррекции погрешность установки единиц герц в диапазоне 1...999 Гц будет периодической и будет изменяться от минимального (0,0011 Гц) до максимального значения (0,01...0,02 Гц). В изготовленном образце генератора измеренная погрешность установки не превысила 0,1 Гц в любой точке диапазона 1...999 Гц. Измерения проводились частотомером цифрового осциллографа. Можно предположить, что в остальной части диапазона погрешность, обусловленная методом вычисления кода, не ухудшится.

Итак, значение частоты мы ввели более-менее точно, а что же будет на выходе? По мере повышения выходной частоты преобладающим источником отклонения выходной частоты от заданной становится кварцевый генератор. Это видно из анализа основного уравнения. С используемым образцом генератора (с собственной погрешностью  $\pm 25$  ppm) отклонение на частоте 2047,999 кГц составляет 1 Гц (измеренная  $F_{\text{вых}} = 2048,0$  кГц), что приемлемо. И хотя ресурсы ПЛИС позволяют повысить загружаемую частоту до 10 МГц и более, автор решил ограничиться приведённым значением. Качество выходного сигнала генератора – превосходное. Неравномерность уровня выходного сигнала по диапазону не более 10%. Одним словом, утилизация старых микросхем удалась. Теперь подробнее о схеме ПЛИС и некоторых узлах.

Блок-схема ПЛИС приведена на рисунке 1. Загрузочный код для DDS вычисляется в 28-разрядном накапливающем сумматоре. Устройство управления в зависимости от требуемой операции подключит на параллельные входы сумматора константу килогерц

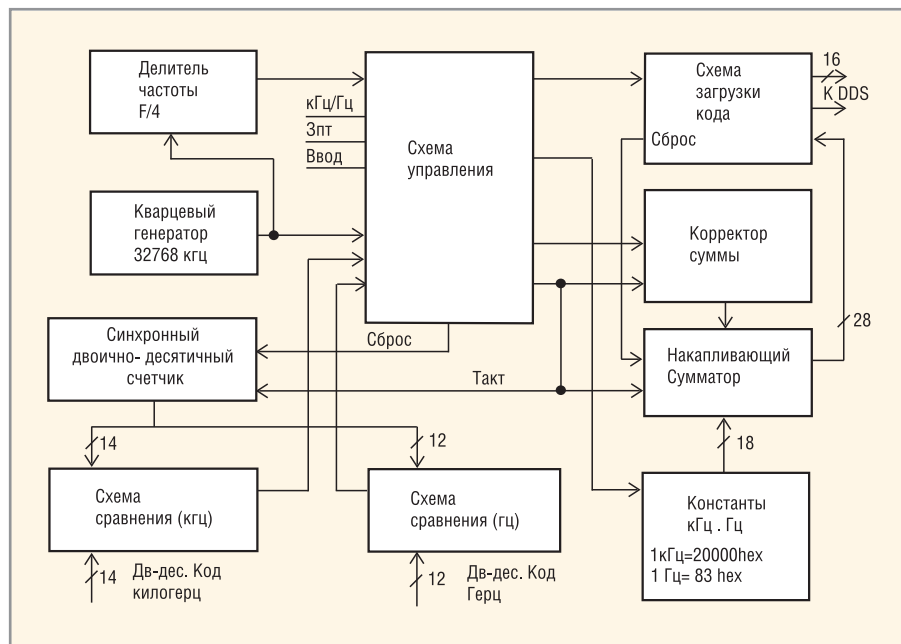


Рис. 1. Блок-схема управляющей ПЛИС

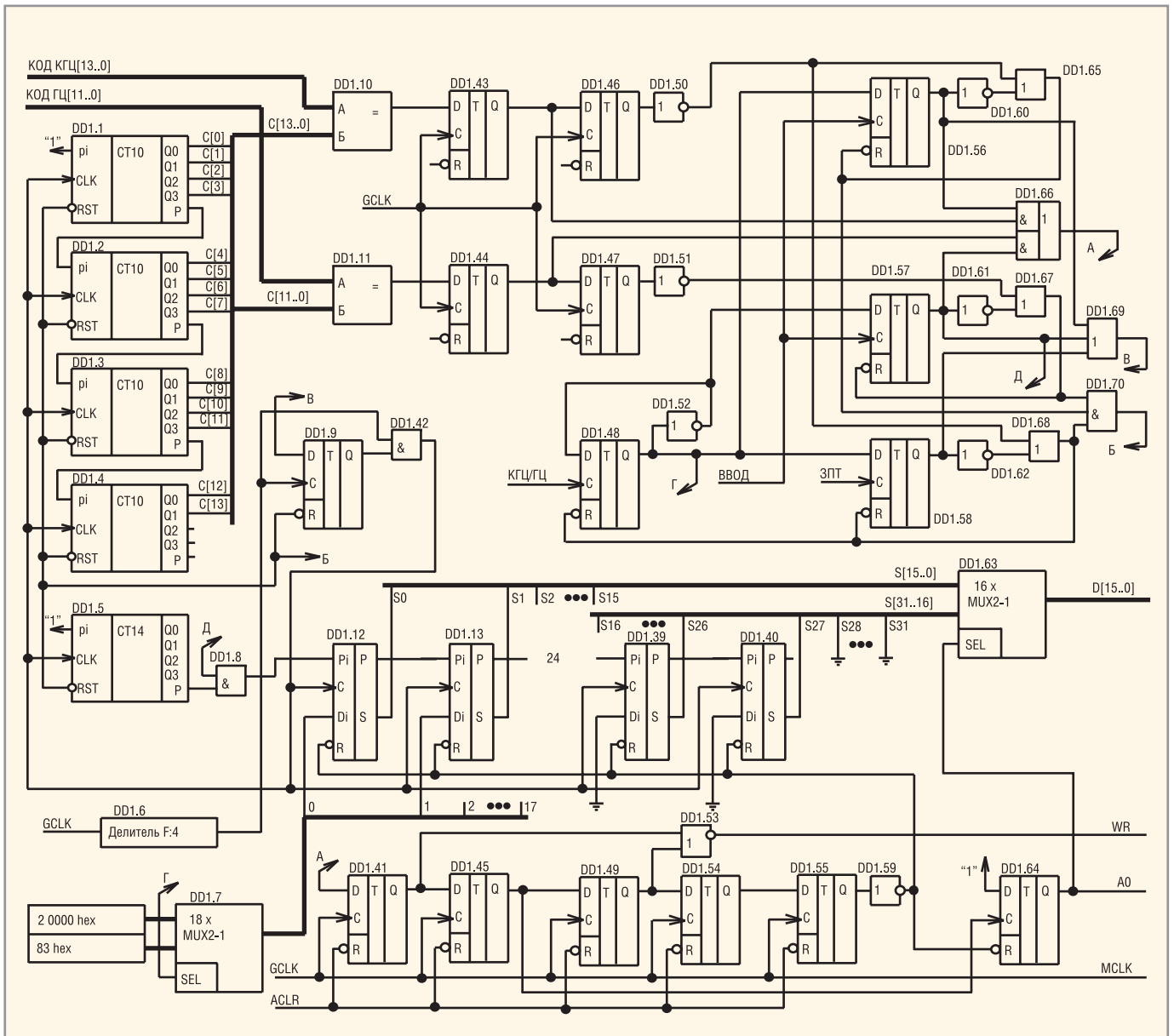


Рис. 2. Принципиальная схема управляющей ПЛИС

или герц и по сигналу ВВОД подаст импульсы на тактовые входы сумматора, двоично-десятичного синхронного счётчика и схемы коррекции суммы. Подача импульсов прекращается при совпадении текущего кода счётчика с числом, заданным на соответствующем входе схемы сравнения.

Устройство может загружать в микросхему DDS или целые значения килогерц (от 1 до 2047), или целые значения герц (от 1 до 999), или код в диапазоне от 0000,001 до 2047,999. В последнем случае после набора килогерц вводится команда запятой (ЗПТ), далее сумматор обрабатывает введённый код килогерц и останавливается; автоматически изменяется константа. После набора дробной части числа вычисление продолжается по команде ВВОД.

Загрузочный код вычисляется на тактовой частоте 8192 кГц, расчёт и

загрузка кода выполняются за доли миллисекунды. Схема загрузки кода вырабатывает строб-импульс записи для 16 старших разрядов, переключает адресный вход DDS и записывает 16 младших разрядов. После завершения ввода кода частоты в DDS сумматор сбрасывается.

Принципиальная схема ПЛИС приведена на рисунке 2. Команды КГц/Гц, ЗПТ и ВВОД поступают от кнопок на лицевой панели или могут быть поданы от внешних устройств. Триггер DD1.48 работает в счётном режиме и переключает диапазон после каждого нажатия кнопки «КГц/Гц».

Функционирование схемы рассмотрим на примере загрузки в синтезатор целого значения килогерц. Если триггер DD1.48 находится в состоянии лог. 1 (диапазон «килогерцы»), подача команды ВВОД установит триггер DD1.56

в единичное состояние. Через элемент DD1.69 на D-вход триггера DD1.9, разрешающего тактирование счётчиков DD1.1 – DD1.5 и накапливающего сумматора DD1.12 – DD1.40, поступит лог. 1. Ближайшим положительным фронтом с выхода делителя F/4 (DD1.6) триггер DD1.9 будет переведён в единичное состояние, и на тактовых входах счётчиков и накапливающего сумматора появится последовательность тактовых импульсов.

Скаждым тактовым импульсом производится сложение константы 20000 hex с накопленным значением. Момент равенства кодов на выходе схемы сравнения DD1.10 будет зафиксирован триггером DD1.43 по ближайшему фронту опорной частоты GCLK. Лог. 1 с выхода DD1.43 через элемент DD1.66 2И-ИЛИ пройдёт на D-вход DD1.41 и будет удерживаться на нём в

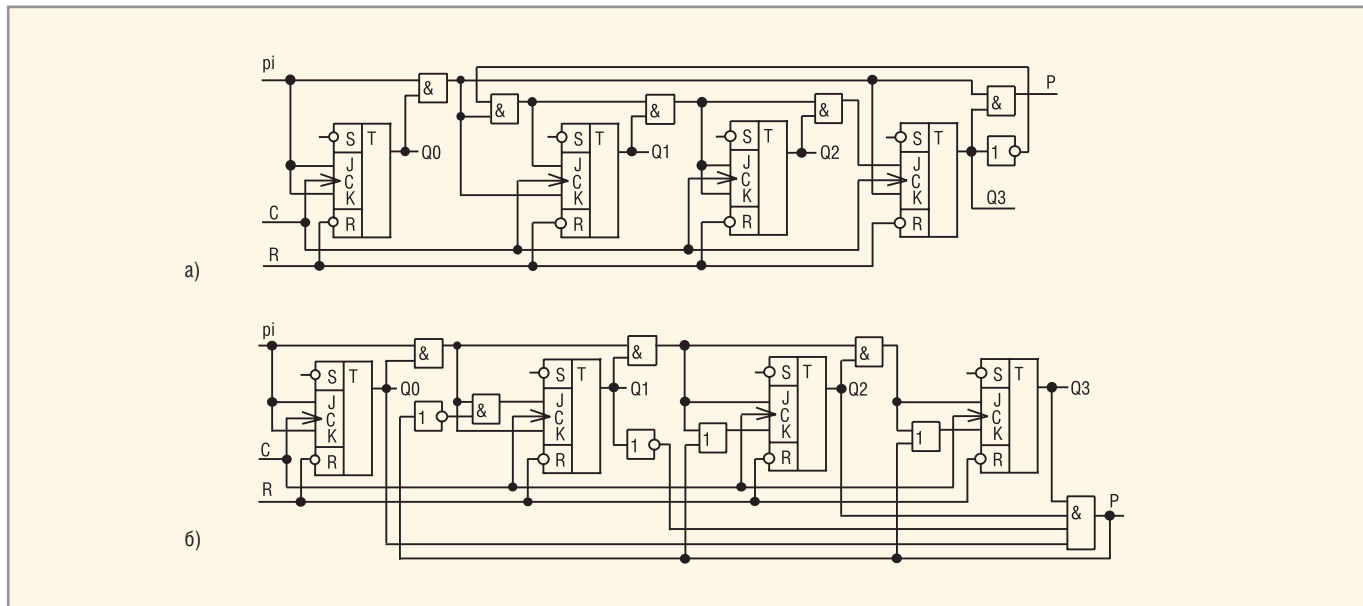


Рис. 3. Синхронные счётчики

а) двоично-десятичный, б) по модулю 14

тение одного такта опорной частоты. В следующем такте лог. 0 с выхода DD1.50 через DD1.65 сбросит стартовый триггер DD1.56, а через элемент DD1.70 – счётчики и триггер DD1.9. Поступление импульсов на тактовый вход накапливающего сумматора прекратится, и на выходе S[27..0] будет зафиксирован результат.

Цепочка триггеров DD1.41, DD1.45, DD1.49, DD1.54, DD1.55 образует управляющий регистр записи кода в микросхему DDS. Лог. 0 с выхода DD1.50 ограничит продолжительность единичного состояния D-входа DD1.41 величиной

чуть более одного такта, что необходимо для записи в управляющий регистр только одной единицы. Эта единица, продвигаясь в регистре, инициирует первый импульс записи WR на выходе DD1.53 при нулевом значении шины A0, переведёт A0 в состояние лог. 1 и через такт выработает второй импульс записи. Переключение A0 в лог. 1, соответственно, выведет на выходы D[15..0] 16 старших разрядов. Далее лог. 0 с выхода DD1.59 сбрасывает накапливающий сумматор и триггер DD1.64. Загрузка кода в микросхему DDS завершена.

По аналогичной схеме можно загружать и другие микросхемы DDS, например AD9851. Для последней следует увеличить длину регистра для формирования пяти строб-импульсов записи и импульса загрузки. Соответственно, изменится схема выходного мультиплектора.

Загрузка дробного значения частоты отличается тем, что команда ЗПТ установит в лог. 1 триггер DD1.58, поскольку на его D-входе присутствует разрешающая лог. 1. Мультиплексор DD1.7 подключит константу килогерц, и будет выполнено вычисление загрузочного кода килогерц. Но команда на загрузку кода не будет выработана элементом DD1.66, т.к. от триггера DD1.56 не поступает разрешающий уровень. После вычисления кода будут сброшены счётчики и триггеры DD1.9, DD1.48, DD1.58. Сброс последнего означает автоматическое изменение режима на расчёт загрузочного кода герц. Если входной код герц установлен, достаточно дать команду ВВОД, чтобы про-

цесс вычисления был продолжен. Вычисленный код будет добавлен к предыдущему. После этого произойдёт выдача команды на загрузку кода в микросхему DDS по нижней половине элемента DD1.66.

Рассмотрим структуру отдельных узлов. По схеме, показанной на рисунке 3а [1], выполнены синхронные параллельные счётчики DD1.1 – 1.4; рисунку 3б соответствует счётчик-корректор по модулю 14 DD1.5.

Многоразрядные счётчики на основе схемы, показанной на рис. 3а, имеют при реализации в ПЛИС хорошо сфазируемые выходные перепады. Счётчик (см. рис. 3б) формирует импульс переноса в состоянии «1101» (13) и по следующему тактовому импульсу переходит в состояние «0000».

Схема одного разряда накапливающего сумматора (DD1.12 – DD1.40) приведена на рисунке 4.

Для мультиплекторов, схем сравнения и констант использованы стандартные параметрические элементы, имеющиеся в фирменной библиотеке. Ресурсы ПЛИС (128 логических ячеек) использованы менее чем на 80%, что позволяет увеличить разрядность счётчика, схемы сравнения и накапливающего сумматора для увеличения выходной частоты до 10 МГц и выше. Но качество выходного сигнала синтезатора неизбежно снизится вследствие роста амплитуды комбинационных частот. Поднять выходную частоту до 10...20 МГц без ущерба для качества сигнала можно с применением микросхемы DDS типа AD9851 с опорной

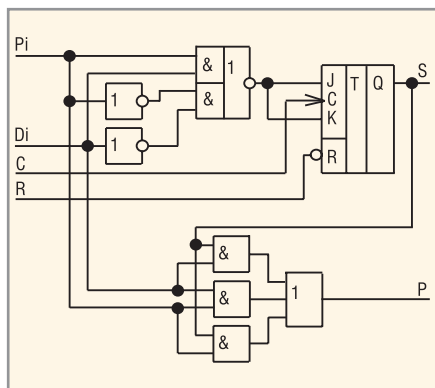


Рис. 4. Одноразрядный сумматор

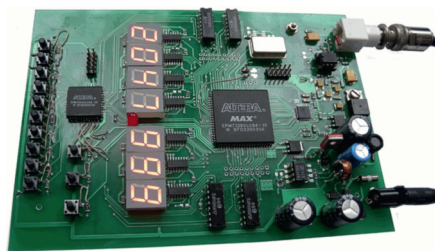


Рис. 5. Отладочная плата генератора с устройством набора частоты



# Контроллер для светофора

Сергей Шишкин (Нижегородской обл.)

**В статье описана плата управления на микроконтроллере AT89C4051, которая реализует алгоритм работы светофора и позволяет задавать временные интервалы включения и выключения его сигналов.**

Напомним, что, согласно правилам дорожного движения, перекрёсток – место пересечения, примыкания или разветвления дорог на одном уровне, ограниченное воображаемыми линиями, соединяющими соответственно противоположные, наиболее удалённые от центра перекрестка начала закруглений проезжих частей. Не считаются перекрёстком выезды с прилегающих территорий.

Рассмотрим «классический» перекресток, регулируемый светофором С1 (рис. 1).

Световые сигналы светофора С1 по направлениям 1 и 3 регулируют движение на дороге А, соответственно, сигналы по направлениям 2 и 4 регулируют движение на дороге Б. Временные диаграммы переключения сигналов светофора приведены на рис. 2.

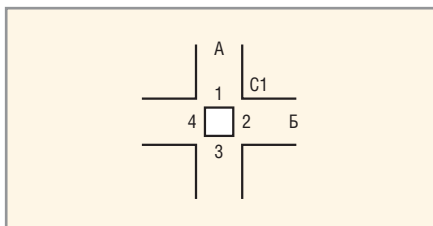


Рис. 1. Схема регулируемого перекрёстка

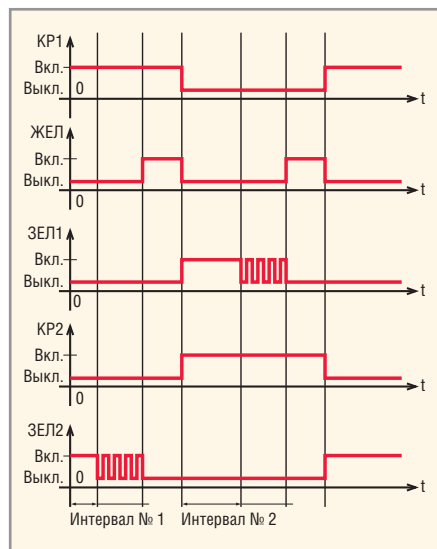


Рис. 2. Временные диаграммы переключения сигналов светофора

Алгоритм работы светофора следующий. Пусть на стороне 1 (на стороне 3) включен красный световой сигнал (КР1). На стороне 2 (на стороне 4) включен зелёный сигнал (ЗЕЛ2). Через заданный интервал времени на стороне 2 включается зелёный мигающий сигнал (на стороне 1 ещё включен красный), затем зелёный мигающий сигнал выключается, и одновременно на обеих сторонах включается жёлтый сигнал (ЖЕЛ). Далее на стороне 1 включается зелёный сигнал (ЗЕЛ1), а на стороне 2 – красный (КР2), и так далее. Обычно зелёный мигающий сигнал, так же как и жёлтый, включается на 3...4 с. Красный и зелёный сигналы включаются на интервалы времени, которые определяются интенсивностью движения и дорожной ситуацией на перекрёстке. В своём городе автор проанализировал работу светофоров на трёх перекрестках и установил, что на первом перекрестке красный сигнал (КР1) включался на 30 с, зелёный (ЗЕЛ1) – на 30 с (направления 1 и 2 выбирались условно); на втором перекрестке эти интервалы времени составляли 20 и 20 с; на третьем – 25 и 20 с соответственно.

Назовём условно интервал включения КР2 (или интервал включения ЗЕЛ1) – интервал № 1. Соответственно, интервал включения ЗЕЛ2 (или интервал включения КР1) – интервал № 2. Вышеуказанные интервалы в устройстве программируются в диапазоне 1...99 с, с дискретностью 1 с.

Принципиальная схема платы контроллера светофора (далее устройства) приведена на рис. 3, интерфейс устройства – на рис. 4. Обозначения элементов на рис. 4 в соответствии с принципиальной схемой показаны условно.

В интерфейс устройства (см. рис. 4) входит клавиатура (кнопки S1 – S4) и блок индикации (дисплей), выполненный на паре двухразрядных цифровых семисегментных индикаторов НG1, НG2. Кнопки клавиатуры имеют следующие назначения:

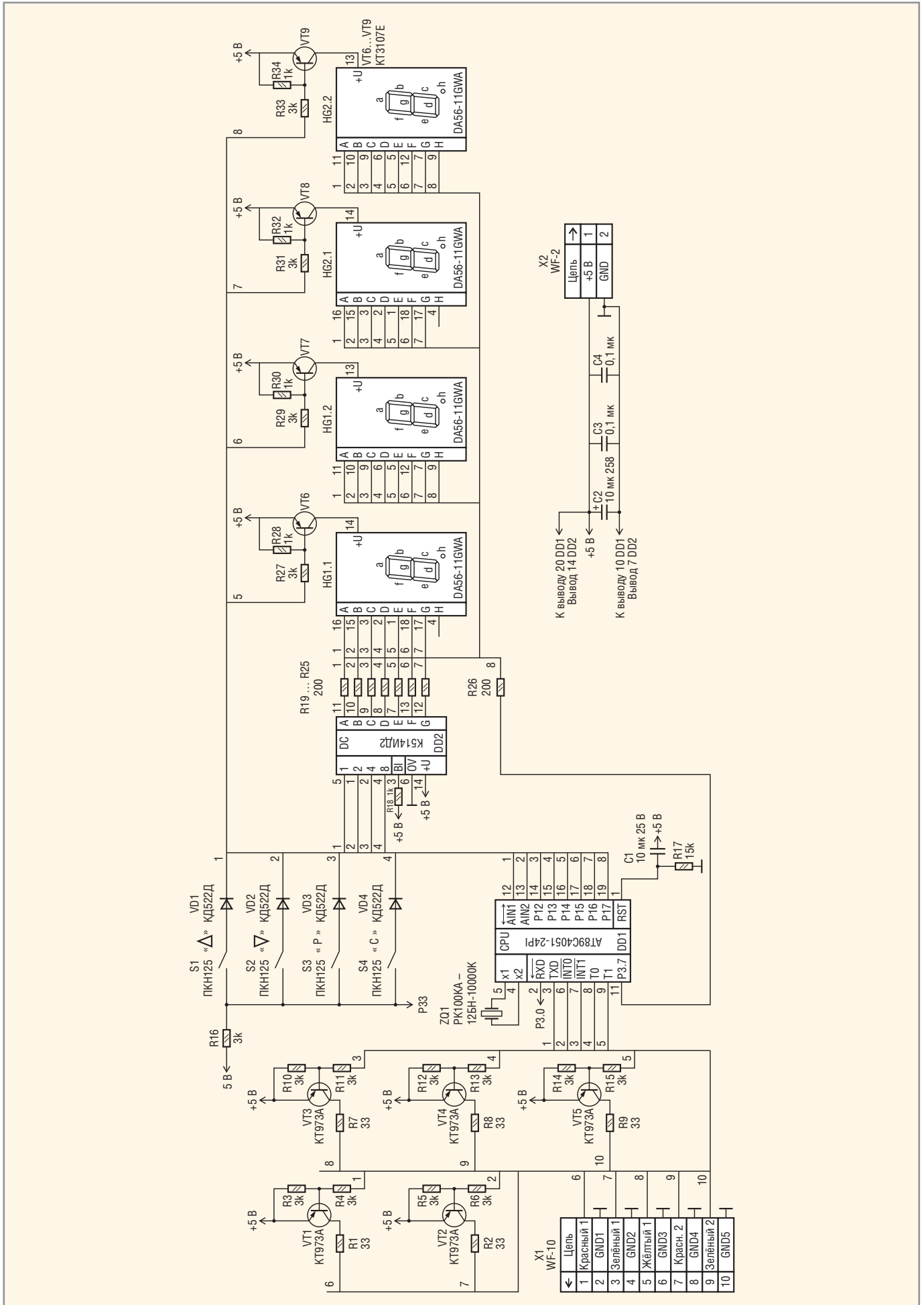
- S1 (▲) – увеличение задаваемого времени для выбранного интервала (№ 1 или № 2) (с);
- S2 (▼) – уменьшение задаваемого времени для выбранного интервала (№ 1 или № 2) (с);
- S3 (P) – выбор интервала (если включена точка h индикатора НG1.2, то выбран интервал № 2, если включена точка h индикатора НG2.2, то выбран интервал № 1). После нажатия на кнопку S3 заданный кнопками S1 (▲) и S2 (▼) параметр записывается в память данных микроконтроллера;
- S4 (C) – кнопка запуска или останова устройства (старт/стоп).

Разряды индикации интерфейса имеют следующие назначения (см. рис. 4, слева направо):

- 1-й разряд (индикатор НG1.1) индицирует десятки секунд интервала № 2;
- 2-й разряд (индикатор НG1.2) индицирует единицы секунд интервала № 2;
- 3-й разряд (индикатор НG2.1) индицирует десятки секунд интервала № 1;
- 4-й разряд (индикатор НG2.2) индицирует единицы секунд интервала № 1.

Сразу после подачи питания на индикаторах индицируются нулевые значения интервалов № 1 и № 2. Точка h индикатора НG1.2 включена, точка h индикатора НG2.2 выключена. Сначала кнопками S1 (▲) и S2 (▼) устанавливается необходимое значение интервала № 1. После нажатия на кнопку S3 (P) заданное значение интервала № 1 переписывается в память данных микроконтроллера; точка h индикатора НG1.2 выключается, точка h индикатора НG2.2 включается. Аналогично кнопками S1 (▲) и S2 (▼) устанавливается необходимое значение интервала № 2. После нажатия на кнопку S3 (P) заданное значение интервала выключения переписывается в память данных микроконтроллера; точка h индикатора НG1.2 включается, точка h индикатора НG2.2 выключается. После задания вышеуказанных параметров, для запуска необходимо нажать на кнопку S4 (C). Устройство переходит в рабочий режим, точка h индикатора НG1.2 включена.

Кроме того, в устройстве предусмотрен режим, при котором включается



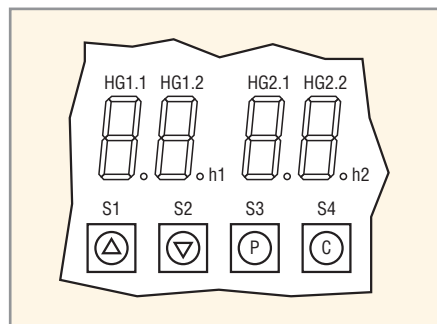


Рис. 4. Интерфейс контроллера светофора

жёлтый мигающий сигнал, а все остальные сигналы выключены. Для перевода устройства в этот режим необходимо сначала нажать кнопку S1 (▲) и только после этого подать питание на плату.

Рассмотрим основные функциональные узлы принципиальной схемы. Устройство выполнено на базе микроконтроллера DD1. Частота его работы задаётся резонатором ZQ1 на 10 МГц. Клавиатура собрана на кнопках S1 – S4. Для функционирования клавиатуры задействован вывод 2 (P3.0) микроконтроллера DD1. Ключи, управляющие сигналами светофора, выполнены на транзисторах VT1 – VT5.

Ключ на транзисторе VT1 (KP1) управляется сигналом с вывода 3 микроконтроллера DD1. Ключ на транзисторе VT2 (ЗЕЛ1) управляется сигналом с вывода 6 микроконтроллера DD1. Ключ на транзисторе VT3 (KP2) управляется сигналом с вывода 7 микроконтроллера DD1. Ключ на транзисторе VT4 (ЗЕЛ2) управляется с вывода 8 микроконтроллера DD1. Ключ на транзисторе VT5 (ЖЕЛ) управляется сигналом с вывода 9 микроконтроллера DD1 (жёлтый сигнал светофора включается одновременно на обоих направлениях). Узел динамической индикации собран на микросхеме DD2, транзисторах VT6 – VT9, сдвоенных цифровых семи-сегментных индикаторах HG1, HG2. Сигнал с вывода 11 микроконтроллера DD1 через резистор R26 включает точку h в индикаторах HG1.2, HG2.2.

Алгоритм работы устройства следующий. Сразу после подачи питания необходимо с клавиатуры задать параметры интервалов № 1 и № 2. Эти параметры отображаются на дисплее. Устройство переходит в рабочий цикл сразу после нажатия на кнопку S4 (старт/стоп). Микроконтроллер устанавливает лог. 0 на выводах 3 и 8, при этом открываются ключи на транзисторах VT1 и VT4. Включается KP1 и ЗЕЛ2 (см. рис. 1). Время, отображаемое

на индикаторе HG2 (интервал № 1), декрементируется с каждой секундой. Как только на индикаторе появляется нулевое значение, микроконтроллер с вывода 8 выдаёт четыре импульса с периодом 1 с (ЗЕЛ2 мигает). Далее микроконтроллер устанавливает лог. 1 на выводе 8 и лог. 0 на выводе 9 на 3 с. То есть ЗЕЛ2 выключается, ЖЕЛ включается и будет гореть 3 с. Через 3 с микроконтроллер устанавливает лог. 1 на выводах 3 и 9 и лог. 0 на выводах 6 и 7 (KP1 и ЖЕЛ выключаются, ЗЕЛ1 и KP2 включаются).

Индикатор HG2 снова индицирует первоначальное заданное значение времени, равное интервалу № 1. Далее время, отображаемое на индикаторе HG1 (интервал № 2) декрементируется с каждой секундой. Как только оно станет равно нулю, микроконтроллер с вывода 6 выдаёт четыре импульса с периодом 1 с (ЗЕЛ1 мигает). Далее микроконтроллер устанавливает лог. 1 на выводе 6 и лог. 0 на выводе 9 на 3 с. То есть ЗЕЛ1 выключается, ЖЕЛ включается и будет гореть 3 с. Через 3 с микроконтроллер устанавливает лог. 1 на выводах 7 и 9 и лог. 0 на выводах 3 и 8 (KP2 и ЖЕЛ выключаются, ЗЕЛ2 и KP1 включаются). Индикатор HG1 снова индицирует первоначальное заданное значение времени, равное интервалу № 2. Рабочий цикл завершён. Такие циклы повторяются периодически.

Для остановки работы устройства, как уже упоминалось выше, необходимо нажать на кнопку S4 (старт/стоп), при этом на всех выводах порта P3 микроконтроллера устанавливается лог. 1. Все сигналы светофора выключены.

Программное обеспечение микроконтроллера DD1 обеспечивает реализацию алгоритма работы реле устройства с обратным отсчётом времени заданных интервалов № 1 и № 2, с выводом задаваемых параметров на динамическую индикацию. Таймер TF0 микроконтроллера DD4 формирует запрос на прерывание чрез каждые 310 мкс. Этот таймер играет роль базового счётчика, который определяет время, необходимое для отображения разрядов динамической индикации и задания временных интервалов для включения сигналов светофора в рабочем цикле.

Сразу после подачи питания на выводе 1 микроконтроллера DD1 через RC-цепь (R17, C1) формируется сигнал системного аппаратного сброса мик-

роконтроллера DD1. Далее идёт инициализация программы, в которой задаются параметры работы динамической индикации и счётчика для задания временного интервала 1 с. При инициализации на всех выводах порта P3 микроконтроллера DD1 устанавливаются лог. 1. Затем запускается таймер TF0 и разрешается работа устройства по приведённому выше алгоритму. Для работы динамической индикации в ОЗУ микроконтроллера DD1 организован буфер отображения.

Рассмотрим алгоритм работы программы устройства в рабочем цикле. После установки параметров (интервалов № 1 и № 2), с нажатием кнопки S4 (старт/стоп), устанавливается бит, разрешающий работу программы управления ключами. Интервал № 2 задан ранее и отображается на индикаторе HG1. Текущее значение времени, отображаемое на индикаторе HG1, хранится в ячейках EMIN (единицы секунд) и DMIN (десятки секунд). При задании параметров работы устройства, после нажатия кнопки S3 (P) вышеуказанное значение времени переписывается соответственно в ячейки EMINB и DMINB. Интервал № 1 задан ранее и отображается на индикаторе HG2. Текущее значение времени, индицируемое на индикаторе HG2, хранится в ячейках EMIN1 (единицы секунд) и DMIN1 (десятки секунд). При задании параметров работы устройства, после нажатия кнопки S3 (P) вышеуказанное значение времени переписывается соответственно в ячейки EMINB1 и DMINB1. В памяти данных микроконтроллера по адресам 22H – 25H организован буфер отображения для динамической индикации. Младшая тетрада каждого байта в буфере отображения представляет собой двоично-кодированное десятичное число, которое определяет значение разряда, а старшая тетрада определяет номер разряда в динамической индикации. Таким образом, в каждом байте буфера определено значение числа и его место при выводе на индикацию. Каждый байт из функциональной группы в цикле, в подпрограмме обработки прерывания таймера TF0 выводится в порт P1 микроконтроллера DD1. Старшая тетрада байта индикации представляет собой код «бегущий ноль». Таким образом, записывая поочередно в цикле в порт P1 байты из функциональной группы буфера, мы получаем режим динамической индикации. В подпрограмме обработки прерывания

происходит отсчёт одной секунды (счётчик организован на регистрах R1 и R2) и опрос клавиатуры, и лишь затем в порт P1 выводится байт динамической индикации. В регистр R0 записывается адрес ячейки из буфера отображения. При каждом обращении к подпрограмме обработки прерывания регистр R0 инкрементируется. В основной программе происходит декремент заданных интервалов № 1 и № 2 и управление клавишами.

Конструктивно светофор состоит из платы интерфейса (см. рис. 3) и сетевой части. В качестве источников света в светофорах применяют, как правило, лампы накаливания или сверхъяркие светодиоды. Схема светильника (сетевой части) для включения лампы накаливания приведена на рис. 5.

В схеме в качестве ключа применено твердотельное реле S202T02. Понятно, что, например, для направления КР1 контакт 1 соединителя X3 (см. рис. 5) через соответствующий жгут нужно подключить к контакту 1 соединителя X1 принципиальной схемы, приведённой на рис. 3. Соответственно, контакт 2 соединителя X3 нужно подключить к контакту 2 соединителя X1.

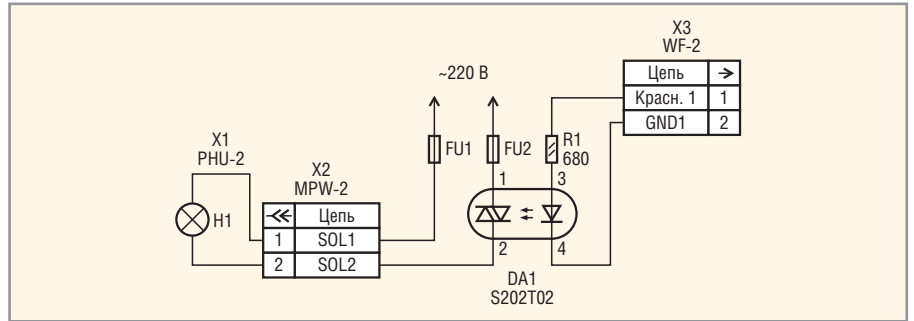


Рис. 5. Схема светильника для включения лампы накаливания

В качестве R1 – R34 в устройстве применены резисторы типа C2-33H мощностью 0,125 Вт, хотя подойдут и любые другие с такой же мощностью рассеивания и разбросом номинальных значений 5%. C1 – C3 – конденсаторы типа K50-35. C3, C4 – конденсаторы типа K10-17а.

Желательно, чтобы цифровая часть принципиальной схемы устройства была гальванически развязана от сети. На плате управления размещены все элементы интерфейса. У микроконтроллера DD1 и регистра DD3 между цепью +5 В и общим проводом полезно установить блокировочные конденсаторы K10-17-Н90 ёмкостью 0,1 мкФ.

Потребление тока по цепи напряжения +5 В – не более 600 мА. Сдвоенные индикаторы НГ1, НГ2 можно заменить на любые с общим анодом и приемлемой яркостью свечения с максимальным прямым током до 20 мА. В устройстве, как и в любом другом цифровом автомате, нет никаких настроек и регулировок. И если монтаж выполнен правильно, то устройство начинает работать сразу после подачи на него напряжения питания.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бродин В.Б., Шагури И.И. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс. М.: ЭКОМ, 1999.
2. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры? Это же просто! М.: СКИМЕН, 2002.



**ЖК-дисплей**



industrial solutions  
flatpanel technology

**Предназначены для работы в жёстких условиях**

**Основные области применения**

- Транспорт (автомобильный и железнодорожный)
- Военно-промышленный комплекс
- Морской флот
- Промышленное машинное оборудование
- Информационные терминалы



**Общие технические характеристики**

- Модели ЖК-дисплеев с размерами по диагонали 10,4", 10,5", 12,1", 15"
- Яркость до 1600 кд/м²
- Контрастность до 950:1
- Эффективная система подсветки на люминесцентных лампах с холодным катодом
- Интерфейс LVDS
- Диапазон рабочих температур –31...+85°C (модель 100i.10X-XT)

Реклама

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ I-SFT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ**



Тел.: (495) 234-0636 • E-mail: info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

# Источники сигналов с априорно заданными статистическими характеристиками

Роман Антипенский, Владимир Муковнин (г. Воронеж)

В статье описывается методика разработки источников сигналов со случайными флуктуациями параметров для использования в системах схемотехнического моделирования радиоэлектронных устройств. Материал статьи может быть полезным для разработчиков систем передачи дискретных сообщений.

Настоящая публикация завершает цикл статей [1–6] по моделированию различного рода сигналов и преднамеренных помех с использованием программной среды MathCAD. В статье описывается методика использования разработанных ранее моделей для получения временных представлений сигналов, соответствующих реальным сигналам, с учётом особенностей распространения радиоволн в каналах связи.

Реальные каналы связи весьма многообразны и определяются большим числом факторов, влияющих на проходящие через них сигналы. В работах, посвящённых моделированию радиоканалов [8–10], как правило, выделяют каналы с детерминированными параметрами и аддитивными помехами, каналы со случайными параметрами и аддитивными помехами и каналы со случайной структурой.

## Модель случайного сигнала в канале с детерминированными параметрами и аддитивными помехами

В канале с детерминированными параметрами и аддитивными помехами наблюдаемый сигнал  $u(t)$ , поступающий на вход приёмного устройства, представляется в виде суммы [8]:

$$u(t) = c(t) + \xi(t), \quad (1)$$

где  $c(t)$  – процесс, зависящий от сигнала  $s(t)$ , подаваемого на вход радиоканала;  $\xi(t)$  – случайный процесс, не зависящий от сигнала  $s(t)$ , который моделирует аддитивную помеху или шум. При этом преобразование сигнала  $s(t)$  в процесс  $c(t)$  детерминировано, т.е. отсутствуют неаддитивные случайные помехи. Рассмотренные в

работах [1–4] модели сигналов могут выступать в роли процесса  $c(t)$ , который по сути является детерминированным сигналом для данной модели радиоканала. В качестве случайного процесса  $\xi(t)$ , не зависящего от сигнала  $s(t)$ , могут использоваться модели шума (белого, гауссовского, негауссовского), преднамеренные помехи, подробно рассмотренные в работах [5–6], а также широко распространённая в радиосвязи и радионавигации модель в виде аддитивной смеси узкополосных случайных процессов вида [9]:

$$\xi(t) = \sum_{i=1}^N a_n(t) \cos(\omega_0 t + \phi_n(t)), \quad (2)$$

где  $a_n(t)$ ,  $\phi_n(t)$  – случайные амплитуда и фаза слагаемых результирующего процесса  $\xi(t)$ .

Рассмотрим методику построения источников случайных сигналов с априорно заданными статистическими характеристиками с целью их дальнейшего использования при разработке радиотехнических систем. В контексте данной работы под определением «случайный сигнал» будем понимать какую-либо последовательность радиоимпульсов, параметры которых подвержены случайному изменению в зависимости от рассматриваемой модели радиоканала. В продолжение работ [1–6] в качестве программной среды для разработки источников сигналов будем использовать систему MathCAD, функции и процедуры которой могут быть транспонированы в популярную систему математического моделирования MathLab. В процессе моделирования нам понадобятся следующие процедуры и функции программной среды MathCAD, позволяющие вычислять статистические оценки случайных последовательностей [7]:

- $mean(A)$  – возвращает среднее значение элементов массива  $A$  размерности  $m \times n$  согласно формуле:

$$mean(A) = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} A_{i,j}; \quad (3)$$

- $median(A)$  – возвращает медиану элементов  $m \times n$  массива  $A$ . Если  $A$  имеет чётное число элементов, медиана определяется как среднее арифметическое двух центральных величин;
- $var(A)$  – возвращает дисперсию элементов массива  $A$  размерности  $m \times n$  согласно формуле:

$$var(A) = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |A_{i,j} - mean(A)|^2; \quad (4)$$

- $cvar(A, B)$  – возвращает ковариацию элементов массивов  $A$  и  $B$  размерности  $m \times n$  согласно формуле:

$$cvar(A, B) = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [A_{i,j} - mean(A)] [B_{i,j} - mean(B)]; \quad (5)$$

где черта указывает на комплексно-сопряжённую величину;

- $stdev(A)$  – возвращает среднее квадратичное отклонение (квадратный корень из дисперсии) элементов  $m \times n$  массива  $A$ ;
- $corr(A, B)$  – возвращает скаляр в виде коэффициента корреляции для двух  $m \times n$  массивов  $A$  и  $B$ .

Генерацию массивов со случайными значениями можно осуществить, используя следующие процедуры [7]:

- $rbeta(m, s_1, s_2)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих бета-распределение, где  $s_1, s_2 > 0$  есть параметры формы;
- $rbinom(m, n, p)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих биномиальное распределение, где  $0 \leq p \leq 1$  и  $n$  есть натуральное число;
- $rchisq(m, d)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих распределение хи-квадрат, где  $d > 0$  есть число степеней свободы;
- $rexp(m, r)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих экспоненциальное распределение, где  $r > 0$  параметр распределения;

- $rF(m, d_1, d_2)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих F-распределение, где  $d_1, d_2 > 0$  есть числа степени свободы;
- $rnorm(m, \mu, \sigma)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих нормальное распределение,  $\sigma > 0$ ;
- $rpois(m, \lambda)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих распределение Пуассона,  $\lambda > 0$ ;
- $runif(m, a, b)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих равномерное распределение, в котором  $b$  и  $a$  являются граничными точками интервала,  $a < b$ ;
- $rweibull(m, s)$  – возвращает вектор  $m$  случайных чисел, имеющих распределение Вейбулла, в котором  $s > 0$  является параметром формы.

Для визуальной оценки законов распределения случайных величин (построения гистограмм) необходимо будет использовать функцию  $hist(int, A)$ . Она возвращает вектор частот, с которыми величины, содержащиеся в векторе  $A$ , попадают в интервалы вектора  $int$ . Элементы в  $A$  и  $int$  должны быть вещественными. Программа MathCAD интерпретирует  $int$  как набор точек, определяющих последовательность интервалов в гистограмме. Результатом этой функции является вектор  $f$ , в котором  $f_i$  есть число значений в  $A$ , удовлетворяющих условию:

$$int_i \leq value < int_{i+1}. \quad (6)$$

Разработаем источник случайного сигнала (1) с фазовой телеграфией (ФТ) и аддитивным белым шумом, спектральная плотность мощности которого постоянна на всех частотах (модель ФТ сигнала подробно рассмотрена в работе [2]). Математическая модель стационарного белого шума обычно описывает широкополосную гладкую помеху или тепловой шум, создаваемый флуктуацией электронов в проводнике. Для генерации стационарного белого шума воспользуемся функцией  $runif(m, a, b)$ , число значений которой  $m$  зададим равным числу отсчетов моделируемого сигнала. Сложение сигнала и шума будем осуществлять в частотной области с учетом весового коэффициента (отношения сигнал/шум), поскольку, исходя из математической модели белого шума, постоянной (равномерной) является его спектральная плотность мощности, и, следовательно, сформированный нами вектор случайных значений

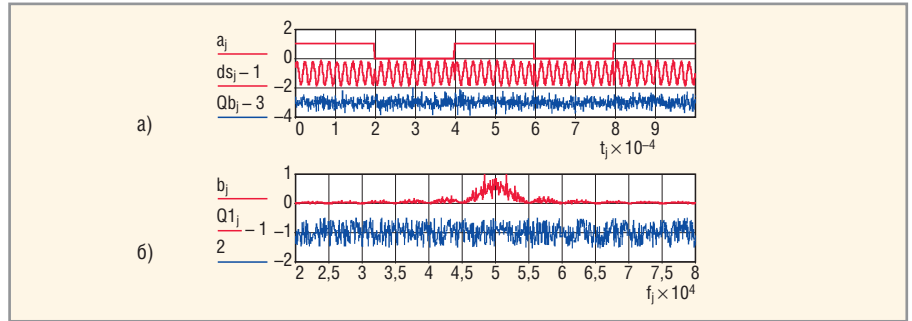


Рис. 1. Результаты моделирования ФТ-сигнала с аддитивным белым шумом

а) временное представление первичного и аддитивного сигналов, белого шума; б) спектральное представление аддитивного сигнала и белого шума

соответствует амплитудному спектру шума. Приведенный ниже фрагмент программного кода MathCAD формирует случайный ФТ-сигнал с аддитивным белым шумом в соответствии с рассмотренным алгоритмом:

Листинг 1

```

Nt:=10000      j:=0..Nt      t_j:=j*10^-6
f_j:=j*10^2    f0:=50*10^3   ti:=2*10^-4
dL:=ti*10^6   h:=0, dL-1..Nt
rh:=0..dL-1
y:=runif(Nt, -1, 1)  Y_h+rh:=Y_h
a_j:=if(Y_j>0, 1, 0)
d_j:=if(a_j>0, sin(2*pi*f0*t_j), sin(2*f0*t_j+3.14))
Q1:=runif(Nt+1, -1, 1)  am:=0.2
Qt:=icfft(Q1)
v_j:=Re(Qt_j)  r:=max(v)  Qb_j:=v_i/r

Sw:=cfft(d)  v_j:=|Sw_j|  r:=max(v)
b_j:=v_i/r

SS:=Sw+am*Q1  st:=icfft(SS)  v_i:=v_i/r
v_j:=Re(st_j)  r:=max(v)  ds_j:=v_i/r
    
```

Поясним введенные идентификаторы программы. В первой строке задаем число отсчетов модели  $N_b$ , диапазон изменения индексной переменной  $j$ , а также формируем массивы времени  $t$  и частоты  $f$ . Во второй строке программного кода задаем несущую частоту сигнала  $f0$  и длительность элементарного импульса  $ti$  в последовательности сигнала. Затем переводим длительность элементарного импульса в число отсчетов  $dL$  и с использованием этой переменной задаем приращение индексной переменной  $b$ , соответствующей моментам начала импульсов в последовательности сигнала, а также формируем приращение индексной переменной  $rh$  для постоянства амплитуд импульсов на протяжении интервалов  $dL$ .

В четвертой строке формируем случайную последовательность  $y$  с равномерным распределением в интервале

от  $-1$  до  $1$  для генерации на её основе фрагмента сигнала. Следует отметить, что в первичной импульсной последовательности  $a$ , сформированной на основе массива  $y$ , закон распределения амплитуд импульсов не будет равномерным, т.к. в массиве  $Y$  мы «выхватываем» случайные значения в моменты времени  $j = b$  и «растягиваем» их на длительность импульса. Но в данной модели радиоканала этот факт не существен; далее мы вернёмся к процедуре формирования случайных параметров сигнала при моделировании каналов со случайными параметрами и аддитивными помехами.

В пятой строке приведенного программного кода формируем фазоманипулированный сигнал  $d$  в соответствии с алгоритмом, рассмотренным в [2]. В шестой строке формируем реализацию белого шума  $Q1$ , задаем его уровень  $am$  и выполняем обратное альтернативное преобразование Фурье для наблюдения временного представления шумовой помехи. В двух последних строках кода вычисляем комплексный спектр аддитивного сигнала  $SS$  и выполняем обратное альтернативное преобразование Фурье для наблюдения временного представления результирующего сигнала  $ds$ . На рисунке 1 представлены результаты моделирования ФТ-сигнала с аддитивным белым шумом, принимаемого из детерминированного канала.

Построим гистограмму распределения случайных значений массива  $Q1$  для визуальной оценки закона распределения спектральной плотности мощности белого шума, воспользовавшись функцией  $hist(int, A)$ . Для этого введём следующий программный код:

Листинг 2

```

MIN:=min(Q1)  MAX:=max(Q1)
MMIN:=floor(MIN)
K:=20  k1:=0..K  MMAX:=ceil(MAX)
    
```

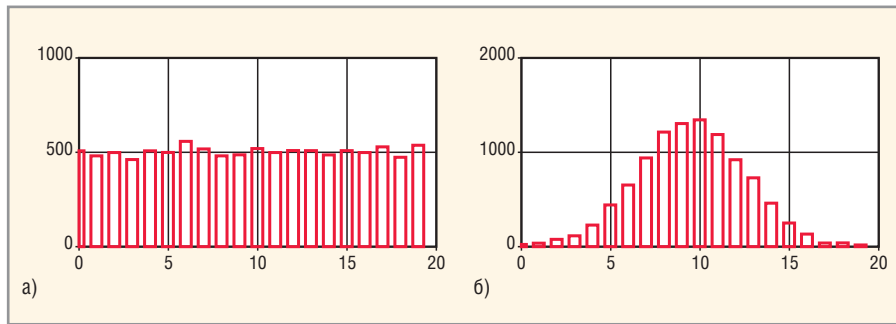


Рис. 2. Гистограммы (а) частотного и (б) временного распределений белого шума

```
Int_k1 := MMIN + (MMAX - MMIN) / K * k1
H := hist(int, Q1) j1 := 0..K-1
```

В первой строке кода определяем минимальное и максимальное значения сформированного вектора случайных чисел, затем в переменные *MMIN* и *MMAX* помещаем результаты округления переменных *MIN* и *MAX*. Задаём число интервалов *K* и приращение индексной переменной *k1*, после чего в третьей строке программного кода формируем вектор интервалов с идентификатором *int*. На рисунке 2а представлена гистограмма распределения случайных значений вектора *Q1*, которая подтверждает формирование последовательности чисел с равномерным законом распределения – это и есть модель белого шума с постоянной на всех частотах спектральной плотностью мощности. На рисунке 2б представлена гистограмма распределения временных отсчётов белого шума, полученная путём вычисления программного кода листинга 2 для переменной *Qb* (временного представления белого шума), из которой видно, что закон распределения вектора *Qb* уже не является равномерным.

Для формирования аддитивного гауссовского шума необходимо воспользоваться функцией *rnorm*(*m*, *μ*, *σ*), возвращающей вектор случайных чисел с нормальным (гауссовским) законом распределения. Для моделирования случайного сигнала в канале с аддитивным негауссовским шумом следует воспользоваться одной из функций генерации случайных векторов, описанных выше.

Для разработки модели временного представления узкополосной помехи в виде аддитивной суммы нескольких случайных процессов (2) построим моделирующий алгоритм, формирующий флуктуации амплитуд *a<sub>n</sub>(t)* и фаз *φ<sub>n</sub>(t)* в зависимости от введённых параметров – законов распределения

амплитуд *V<sub>a<sub>n</sub></sub>*(t) и фаз *V<sub>φ<sub>n</sub></sub>*(t), диапазонов флуктуаций амплитуд *Δ<sub>a<sub>n</sub></sub>*(t) и фаз *Δ<sub>φ<sub>n</sub></sub>*(t), длительности фрагментов с фиксированным значением амплитуд *T<sub>a<sub>n</sub></sub>*(t) и фаз *T<sub>φ<sub>n</sub></sub>*(t), весовых коэффициентов слагаемых *M<sub>n</sub>* результирующего процесса *ξ(t)*. Тогда модель (2) с учётом указанных параметров примет вид:

$$\xi(t) = \sum_{i=1}^N M_n a_n (V_{a_n}(t), \Delta_{a_n}(t), T_{a_n}(t)) \times \cos(\omega_0 t + \phi_n (V_{\phi_n}(t), \Delta_{\phi_n}(t), T_{\phi_n}(t))) \cdot (7)$$

Для формирования результирующего случайного процесса необходимо сгенерировать последовательности случайных амплитуд *a<sub>n</sub>(V<sub>a<sub>n</sub></sub>*(t), *Δ<sub>a<sub>n</sub></sub>*(t), *T<sub>a<sub>n</sub></sub>*(t)) и фаз *φ<sub>n</sub>(V<sub>φ<sub>n</sub></sub>*(t), *Δ<sub>φ<sub>n</sub></sub>*(t), *T<sub>φ<sub>n</sub></sub>*(t)), а затем в соответствии с выражением (7) получить реализацию случайного процесса *ξ(t)* и выполнить суммирование с реализацией сигнала *s(t)*. Модифицируем программный код, представленный листингом 1, следующим образом:

```
Листинг 3
z := 1..5 am_z := rnd(0.7)
as_z := rnd(0.4)
Q1 := rnorm(Nt+2, 0, 1) f0_1 := 49500
Q2 := rnorm(Nt+10+floor(Q1), 0, 1)
f0_2 := 51500
Q3 := rnorm(Nt+10+floor(Q2), 0, 1)
f0_3 := 50000
Q4 := rnorm(Nt+10+floor(Q3), 0, 1)
f0_4 := 51000
Q5 := rnorm(Nt+10+floor(Q4), 0, 1)
f0_5 := 49000
```

Пусть в формировании узкополосного случайного процесса участвуют пять составляющих; зададим приращение индексной переменной *z* и сформируем случайные флуктуации амплитуд для каждого процесса *am* и случайные уровни фазовых флуктуаций *as*. Далее зададим центральные частоты процессов *f0<sub>1</sub> – f0<sub>5</sub>* и сформируем пять независимых реализаций процессов *Q1 – Q5* с нормальным законом распределения (параметры формы *μ* = 0, *σ* = 0).

Чтобы каждый раз при запуске вычислений генерировались новые реализации векторов, в выражениях для *Q2 – Q5* сделаны ссылки на предыдущие процессы *Q1 – Q4* (в частности, элементы этих векторов с индексом 1) в параметре числа элементов векторов. Установив маркер в поле выражения *Q1* и запустив вычисления, мы получим сгенерированные заново реализации остальных процессов. Поскольку число элементов вектора должно быть целым, следует отбросить дробную часть с помощью процедуры *floor(QX<sub>1</sub>)* и сделать «запас» на десять элементов. Это позволит избежать останова вычислений при некоторых реализациях процессов *Q2 – Q5*, которые будут содержать число элементов, меньшее модельного параметра *N<sub>t</sub>* (уменьшение числа отсчётов может давать слагаемое *floor(QX<sub>1</sub>)*, взятое с отрицательным знаком).

Теперь сформируем реализации узкополосных процессов *q1 – q5*, используя выражение (7), вычислим их сумму и добавим результирующий процесс к сигналу *d*. Листинг 4 демонстрирует реализацию рассмотренных операций в программной среде MathCAD:

```
Листинг 4
q1_j := cos(2πf0_1t_j + as_1Q1_j) + Q5_j am_1
q2_j := cos(2πf0_2t_j + as_2Q2_j) + Q4_j am_2
q3_j := cos(2πf0_3t_j + as_3Q3_j) + Q2_j am_3
q4_j := cos(2πf0_4t_j + as_4Q4_j) + Q1_j am_4
q5_j := cos(2πf0_5t_j + as_5Q5_j) + Q3_j am_5
Qs_j := am_1q1_j + am_2q2_j + am_3q3_j + am_4q4_j + am_5q5_j
r := max(Qs) Qs := (Qs_j) / r
d_j := d_j + max(am) Qs_j
```

На рисунке 3 представлены результаты моделирования ФТ-сигнала, принимаемого из детерминированного канала, с узкополосной помехой, сформированной в соответствии с моделью (7).

Рассмотрим, каким образом можно передать результаты моделирования случайного сигнала в систему схемотехнического моделирования DesignLAB (или систему OrCAD). В этих системах предусмотрен источник сигнала из файла, при этом данные в файле необходимо представить в следующем формате [11]:

```
<отсчёт времени 1> , <отсчёт амплитуды 1>
<отсчёт времени 2> , <отсчёт
```

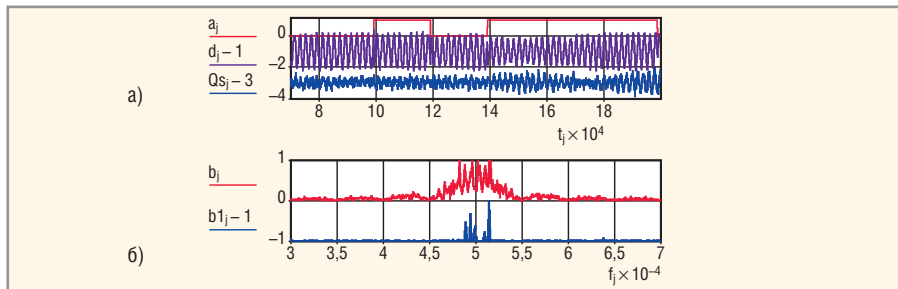


Рис. 3. Результаты моделирования принимаемого из детерминированного канала аддитивной смеси ФТ-сигнала с узкополосной помехой

а) временное представление первичного и аддитивного сигналов, узкополосного случайного процесса;  
 б) спектральное представление аддитивного сигнала и узкополосного случайного процесса

амплитуды 2>)

...  
 (<отсчёт времени N> , <отсчёт амплитуды N>).

Чтобы сигнал выглядел в файле подобным образом, добавим в нашу модель следующий программный код:

Листинг 5

```
i:=0..1 sig_j,i:=if(i=0,t_j,d_j)
WRITEPRN("sig.dat"):=sig
```

Поясним введённые обозначения. Индексная переменная *i* участвует в формировании двумерного массива *sig*

по правилу: если *i* = 0, то в элемент массива [0, *j*] мы записываем отсчёт времени *t<sub>j</sub>*, если не равен нулю (равен 1), то в элемент массива с индексами [1, *j*] записываем отсчёт сигнала *d<sub>j</sub>*. Затем формируем файл с именем *sig.dat*, который будет размещаться в том же каталоге, что и наш файл с моделью.

Следует отметить, что для правильной записи результатов моделирования в файл необходимо в программе MathCAD установить следующие значения системных параметров *PRN File Settings: Precision* (точность отображения) = 10, *Column Width* (ширина столбца) = 20.

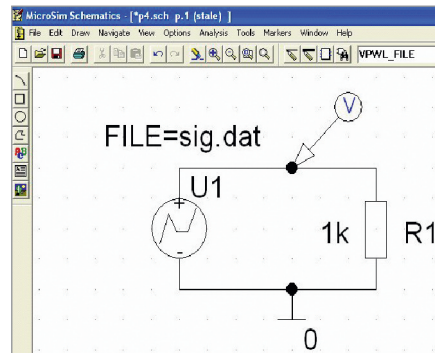


Рис. 4. Испытательная схема с источником сигнала из файла

Покажем теперь, как выполнить ввод и моделирование испытательной схемы для проверки модели сигнала в системе схемотехнического моделирования. Введём схему, показанную на рисунке 4. В качестве источника сигнала воспользуемся компонентом *VPWL\_FILE* [11] (источник напряжения, заданный в файле) и установим значение его атрибута *File=sig.dat*. Сохраним собранную схему, поместив в папку со схемой файл *sig.dat*, зададим параметры директивы временного анализа и выполним моделирование. В окне программы *Probe* системы *DesignLAB* (см. рис. 5) мы уви-

# ПРОЦЕССОРНЫЕ ПЛАТЫ И КОРПУСА для промышленных ПК и встраиваемых систем

# iBASE



Там, где живет интеллект

- Гарантия – 2 года
- Рабочая температура 0...60°C
- Производство и поддержка – 5 лет
- Сторожевой таймер, монитор состояния
- Многоуровневое выходное тестирование

### Готовые решения

- MB945**
  - Чипсет Intel Q45+ICH10D0
  - ЦП Core 2 Quad, шина 1333 МГц
  - До 16 Гбайт DDR3
  - 2 PCI-E (x16, x1), 4 PCI, 1 ISA
  - 4 COM, 12 USB
  - Форм-фактор ATX
- IB888**
  - Чипсет Intel Poulsbo XL US15WP
  - ЦП ATOM Silverthorne XL 1,1 ГГц
  - Видео DVI + LVDS 24 бит
  - 4 COM, 8 USB 2.0
  - Рабочая температура –40...+70°C
  - Форм-фактор 3.5" SBC
- IB945**
  - Чипсет Intel Q45+ICH10D0
  - ЦП Core 2 Quad, шина 1333 МГц
  - 6 SATA 300, IDE, FDD
  - 8 USB, RS-232, RS-232/422/485
  - PICMG 1.0 (ISA + PCI)
- CSB200-888**
  - ЦП ATOM Silverthorne XL 1,1 ГГц
  - До 2 Гбайт DDR2 SODIMM
  - 6 USB, RS-232, RS-232/422/485
  - DVI, Gigabit Ethernet
  - Внешний CompactFlash
  - Размеры: 190x132x30 мм, VESA

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ iBASE

**PROSOFT®**

Тел.: (495) 234-0636 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Реклама

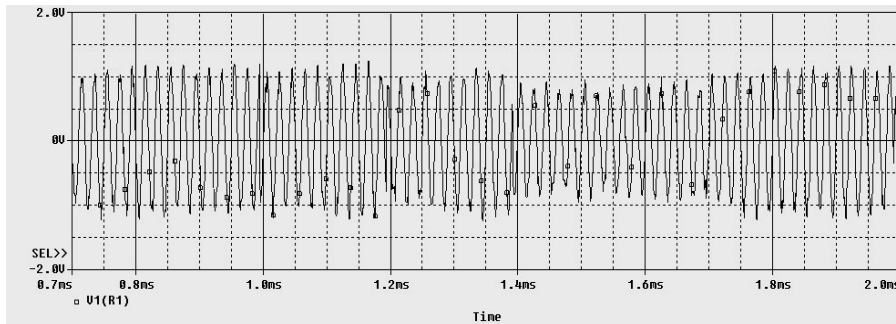


Рис. 5. Аддитивный сигнал на выходе источника сигнала в системе схемотехнического моделирования DesignLAB

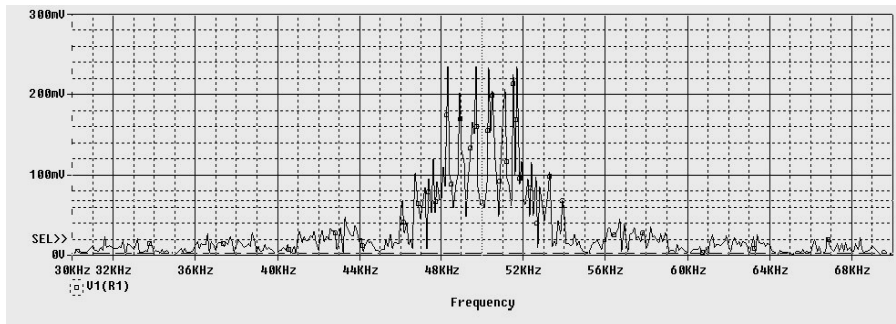


Рис. 6. Амплитудный спектр аддитивного сигнала в системе схемотехнического моделирования DesignLAB

дим точно такой же аддитивный сигнал, какой первоначально был создан нами с помощью программы MathCAD.

Убедиться в соответствии спектральных характеристик исходного случайного сигнала, созданного в программной среде MathCAD, и сигнала из внешнего источника в системе схемотехнического моделирования DesignLAB можно, выполнив быстрое преобразование Фурье (кнопка FFT), результат которого представлен на рисунке 6.

### Модель сигнала в канале со случайными параметрами и аддитивными помехами

К данной группе моделей относятся случайные сигналы в каналах с неопределённой фазой и гауссовской аддитивной помехой, с неопределённой фазой и аддитивным коррелированным гауссовским шумом, с неопределённой фазой и случайной средней частотой [8]. Например, математическая модель канала с неопределёнными амплитудой, фазой и гауссовской аддитивной помехой с равномерным спектром может быть представлена следующим выражением [8]:

$$u(t) = \mu \sum_{k=0}^{N-1} \left[ s_k(t - \tau - kT) \cos \phi_k + \hat{s}_k(t - \tau - kT) \sin \phi_k \right] + \xi(t), \quad (8)$$

где  $N$  – число символов, переданных в сеансе связи;  $\mu$  – известный при приёме коэффициент передачи канала;  $\tau$  – известное при приёме время запаздывания сигнала;  $s_k$  и  $\phi_k$  – случайные амплитуда и начальная фаза  $k$ -го элемента, независимые от амплитуд и начальных фаз других символов. При этом комплексный сигнал представляется в аналитическом виде, когда с действительной частью  $s(t)$  сопряжена мнимая часть  $\hat{s}(t)$ , полученная посредством преобразования Гильберта [8].

Анализируя выражение (8), можно сказать, что известные параметры  $\mu$  и мы можем учесть соответствующим образом в программном коде модели, представленном в листинге 1. В отличие от предыдущей модели, случайность теперь должна быть заложена в фазу и амплитуду сигнала.

Для формирования амплитудных флуктуаций сигнала следует получить вектор случайных значений с соответствующим законом распределения, а затем установить амплитуды импульсов фрагмента сигнала, равными сформированному вектору. Это – общий подход, который мы будем применять и для формирования флуктуаций других параметров сигнала (частоты, фазы, положения импульсов на временной оси), однако при детальном рассмотрении такого алгоритма становятся очевидными некоторые различия в способах мо-

дификации соответствующих параметров сигналов.

В частности, при формировании вектора случайных значений для флуктуации амплитуд количество элементов вектора должно соответствовать числу импульсов в моделируемом фрагменте сигнала. При этом следует обеспечить возможность вариации этого параметра модели при изменении длительности элементарного импульса. Приведённый ниже программный код обеспечит флуктуации амплитуд ФТ-сигнала с заданным законом распределения (например, равномерным) в соответствии с рассмотренным выше требованием:

#### Листинг 6

```
Nt:=10000 j:=0..Nt tj:=j*10^-6 fj:=j*10^2
f0:=50*10^3 ti:=1*10^-4 kol:=floor(Nt/ti)
kol=100
dL:=ti*10^6 rh:=0..dL-1 k:=0..kol-1
sa:=runif(kol,-1,1)
kp:=0.2Sa_k(dL)+rh:=sa_k
Sa_N:=Sa_{N-1} a_j:=if(Sa_j>0,1,0)
a1_j:=if(Sa_j>0,1+kp*Sa_j,0+kpSa_j)
d_j:=if(a_j>0,(1+kpSa_j*sin(2*pi*f0*t_j),
(1+kpSa_j*sin(2*pi*f0*t_j+3.14)))]
```

Поясним идентификаторы модели. Во второй строке программного кода задаём несущую частоту ФТ-сигнала  $f_0$ , длительность элементарного импульса  $ti$  и рассчитываем количество импульсов в моделируемом фрагменте сигнала  $kol$  (для заданных параметров в модели формируется 100 импульсов). В третьей строке пересчитываем длительность одиночного импульса в количество отсчетов  $dL$ , задаём приращение индексной переменной  $rh$  на длительность импульса и переменной  $k$  – на количество моделируемых импульсов. Затем в переменной  $sa$  формируем вектор случайных амплитуд импульсов с равномерным законом распределения, вводим уровень флуктуаций  $kp$  и в переменной  $Sa$  пересчитываем случайные амплитуды импульсов так, чтобы на протяжении длительности импульса его амплитуда была постоянной. В пятой строке вводим вспомогательный вектор  $a$ ; на его фоне мы увидим случайные приращения амплитуд импульсов вектора  $a1$ . В последней строке программного кода модели формируем фазоманипулированный сигнал со случайными флуктуациями амплитуды, подчинёнными равномерному за-

кону распределения. Единственное, что осталось сделать, – сформировать шумовую помеху с равномерной плотностью спектральной мощности  $Q1$ , вычислить её временное представление  $Qb$  и добавить его к сигналу  $d$ :

Листинг 7

```
Q1:=runif(Nt+1,-1,1) am:=0.2
Qt:=icfft(Q1)
Vj:=Re(Qtj) r:=max(v) Qbj:=vj/r
d1j:=dj+am*Qbj
```

На рисунке 7 показаны результаты моделирования первичных сигналов ( $a$  и  $a1$  со случайной амплитудой импульсов) и фазоманипулированных сигналов ( $d$  и  $d1$  с аддитивным белым шумом).

Аналогично можно получить временные последовательности с другими случайными параметрами. Так, для формирования фазоманипулированного сигнала со случайной амплитудой и фазой следует добавить в модель приводимый ниже программный код:

Листинг 8

```
d1j:=if[aj > 0, (1 + kpSaj) *
* sin(2πf0tj + fpSaj),
```

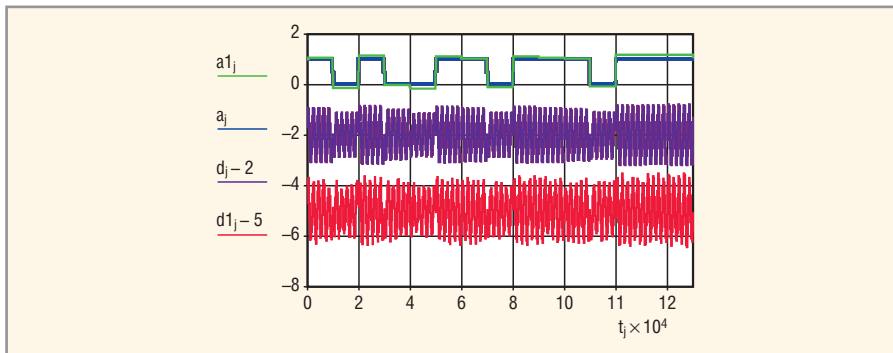


Рис. 7. Результаты моделирования ФТ-сигнала в канале со случайной амплитудой и аддитивным белым шумом

```
(1 + kpSaj) sin(2πf0tj + 3.14 +
fpSaj)].
```

Предварительно задав уровень фазовых флуктуаций  $fp$ , к каждому отсчёту сигнала мы добавляем постоянный на протяжении одного импульса фазовый сдвиг, который берём из сформированного ранее массива  $Sa$ .

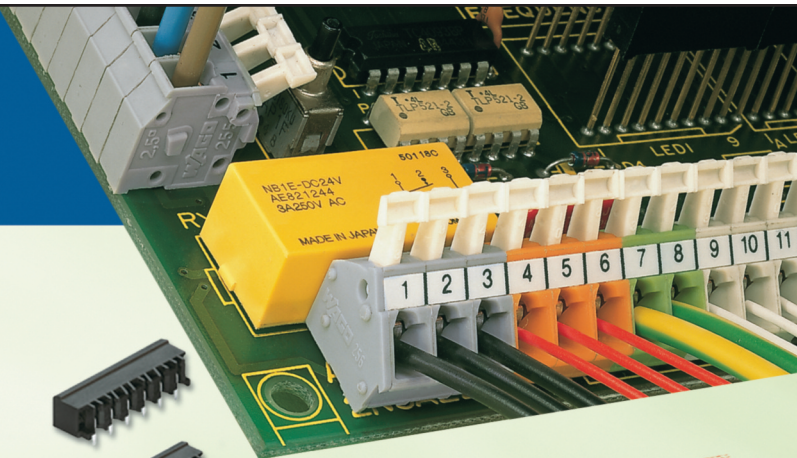
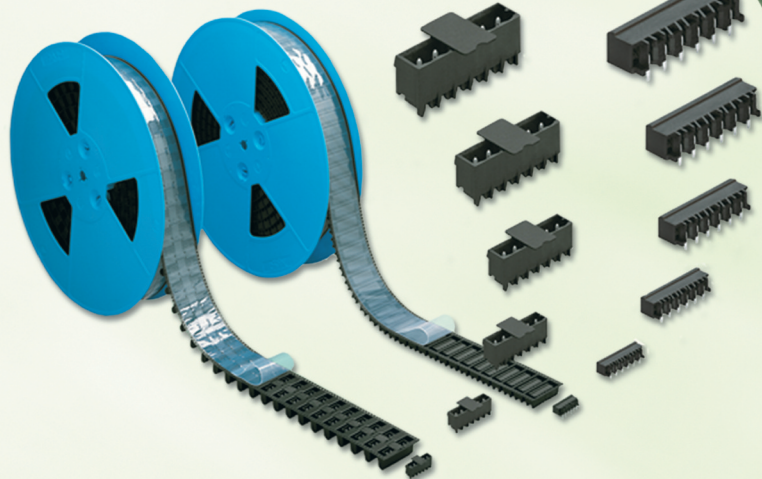
Для формирования фазоманипулированного сигнала со случайной амплитудой и частотным сдвигом следует добавить в модель приводимый ниже программный код, предварительно задав уровень частотных флуктуаций  $ff$ :

Листинг 9

```
d2j:=if[aj > 0, (1 +
kpSaj) sin[2π(f0 + ffSaj)tj],
(1 + kpSaj) sin[2π(f0 + ffSaj)tj +
3.14]]
```

На рисунке 8 представлены результаты моделирования фазоманипулированных сигналов со случайной амплитудой (временное представление  $d$ , спектральное представление  $b$ ), со случайной амплитудой и фазовым сдвигом внутри импульса ( $d1$  и  $b1$  соответственно), со случайной амплитудой и частотным сдвигом внутри импульса ( $d2$  и  $b2$  соответственно). Чтобы убе-

# Клеммы и соединители для печатных плат



К монтажу  
**ГОТОВЫ!**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ WAGO



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Реклама

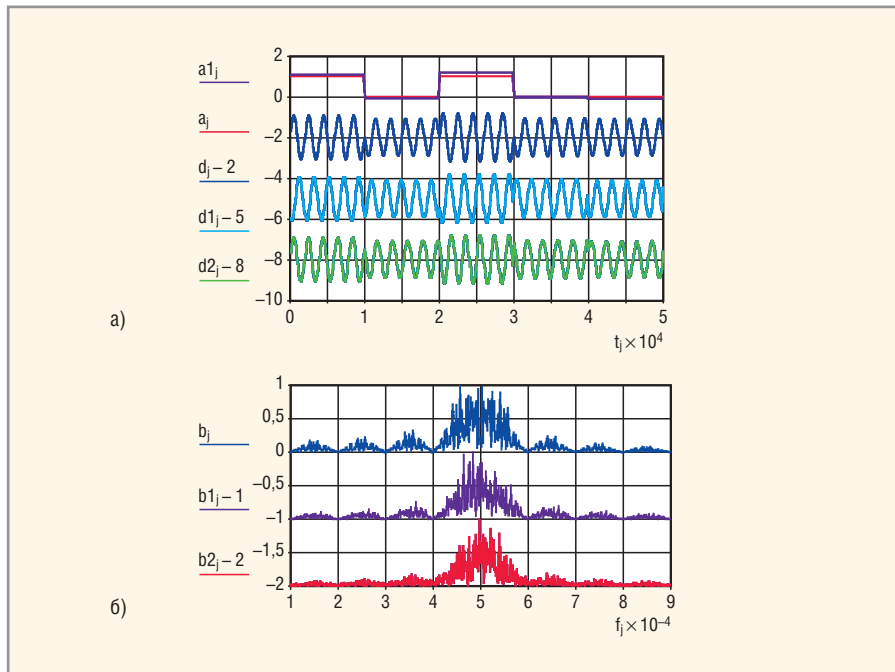


Рис. 8. Результаты моделирования фазоманипулированных сигналов в каналах со случайными параметрами

а) временные представления сигналов; б) амплитудные спектры сигналов

даться в наличии сформированных флуктуаций параметров ФТ-сигналов, мы пока не будем добавлять к временным представлениям аддитивную составляющую шума.

Анализируя приводимые графики временного представления сигналов со случайной амплитудой и фазой, можно увидеть фазовые внутриимпульсные флуктуации и их влияние на амплитудный спектр сигнала. Частотные флуктуации на временном представлении сигнала не столь заметны, однако, анализ спектрального представления фазоманипулированного сигнала с внутриимпульсным сдвигом частоты позволяет сделать вывод о «расползании» основного и боковых лепестков спектра сигнала.

**Модель сигнала в канале со случайной структурой**

Среди моделей каналов со случайной структурой различают каналы со случайной фазой, с нестабильностью и доплеровским сдвигом частоты, с дискретной многолучевостью и с селективными замираниями [8]. Модели этих каналов достаточно сложны, поэтому при построении решающих схем (РС), как правило, пользуются «Марковским подходом», когда РС распадается на схему оценки параметров предшествующего элемента сигнала (или сеанса связи) и схему принятия решения. При этом соответствующей моделью случайного сигнала является

сигнал со случайными параметрами и неизвестным временем прихода. Поэтому, используя полученные ранее модели сигналов со случайными параметрами, необходимо разработать алгоритм, вносящий случайность во время прихода (начала) импульсов и их длительность. Например, дискретные сигналы с нестабильностью и доплеровским сдвигом частоты, описываемые моделью

$$u(t) = \sum_{k=0}^{n-1} A_k(t)(-1)^k \cos(\omega_c t + \theta(t)) + \xi(t), \quad (9)$$

можно будет получить, комбинируя флуктуации несущей частоты внутри импульса и флуктуации времени начала импульса. В выражении (9) использованы следующие обозначения:  $A_k(t) = A(t - kT)$ ;  $A(t) = 0$  при  $t \leq 0$  и  $t \geq T$ ;  $(d/dt)\theta(t) = \omega_d(t) - \omega_{d0}(t) + \omega_n(t)$ ;  $\omega_d(t)$  – случайное изменение частоты, обусловленное эффектом Доплера;  $\omega_n(t)$  – случайное изменение частоты за счёт нестабильностей генераторов в передатчике и приёмнике;  $\xi(t)$  – белый шум;  $T$  – длительность элемента сигнала, являющаяся в данном канале случайной величиной (что, однако, не показано в модели (9)).

Используя алгоритмический способ моделирования случайного сигнала, сформируем последовательность импульсов, длительности которых будут распределены в соответствии с заданным статистическим законом. Алго-

ритм сжатия-растяжения временного представления сигнала подробно рассмотрен [6] при разработке модели алгоритмической помехи. Суть алгоритма заключается в следующем: для растяжения сигнала  $d(t)$  во времени текущий  $j$ -отсчёт следует заменить  $(j - b)$ -отсчётом, который предшествовал заданному на некоторый интервал  $b$  (в нашем случае он должен быть случайным на протяжении длительности одного импульса). Математическая операция такой процедуры запишется следующим образом:

$$ds^-(t_j) = d\left(t_{j-b(t_j)}\right). \quad (10)$$

Для получения сжатой копии сигнала текущий  $j$ -отсчёт следует заменить  $(j + b)$ -отсчётом, который следует через некоторый интервал  $b$ :

$$ds^+(t_j) = d\left(t_{j+b(t_j)}\right). \quad (11)$$

Если теперь сопоставить случайные положительные значения вектора  $Sa$  растяжению сигнала (что в свою очередь приведёт и к задержке импульсов по сравнению с исходным сигналом), а отрицательные значения – сжатию (уменьшению задержки), получим следующий программный код:

```

Листинг 10
ks:=30j:=ks..10000
aj:=if(Saj>0,1,0)
dj:=if(aj>0,sin(2pi*f0*tj),sin(2pi*f0*tj+3.14))
bj:=floor(Saj*ks) asj:=if(bj>0,aj-bj,aj+bj)
b1j:=if(asj:=asj-1,b1j-1,b1j)
dsj:=if(asj>0,sin(2pi*f0*tj-b1j),sin(2pi*f0*tj+b1j+3.14))
    
```

Некоторые идентификаторы листинга 10 требуют пояснений. Массивы  $a$  и  $d$  представляют собой первичный и фазоманипулированный сигналы, сформированные на основе случайных значений массива  $Sa$ . Идентификатор  $b1$  является индексным массивом, полученным также на основе  $Sa$ , значения которого и будут определять направление и величину сдвига. На его основе мы формируем случайный первичный сигнал  $as$ , у которого длительность импульсов и время их задержки связаны с массивом  $b1$ , а следовательно, и с законом распределения случайных значений

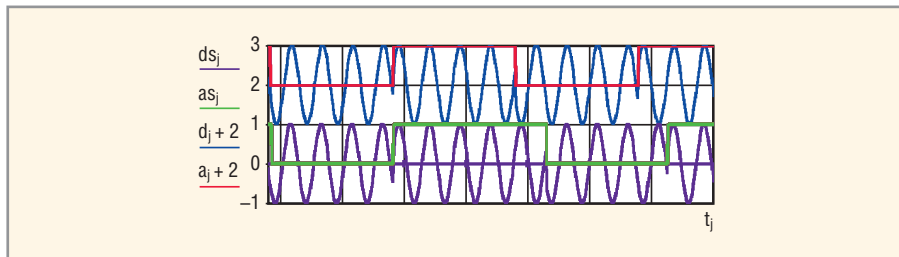


Рис. 9. Результаты моделирования ФТ-сигнала со случайной задержкой и флуктуациями длительностей импульсов

массива  $Sa$ . В идентификаторе  $ds$  мы формируем ФТ-сигнал со случайной задержкой и флуктуациями длительностей импульсов в соответствии с выражениями (10), (11). На рисунке 9 отчётливо видны изменения длительностей импульсов и относительных временных сдвигов в результирующем сигнале  $ds$  по сравнению с исходным фазоманипулированным сигналом  $d$ .

Применяя рассмотренные в статье алгоритмы формирования случайных сигналов, читатель может самостоятельно создавать (или модифицировать) описанные модели случайных сигналов и использовать их при моделировании систем передачи дискретных сообщений.

Модели случайных сигналов, рассмотренные в статье, выложены на интернет-странице журнала СЭ ([www.soel.ru](http://www.soel.ru)). Для ознакомления с моделями необходимо наличие установленной на компьютере системы MathCAD 11.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Антитенский П.В. Моделирование источников аналоговых сигналов. Современная электроника. 2007. № 4.
2. Антитенский П.В. Моделирование источников сигналов с дискретной модуляцией. Современная электроника. 2007. № 8.
3. Антитенский П.В. Моделирование источников сложных сигналов. Современная электроника. 2007. № 9.

4. Антитенский П.В. Моделирование источников импульсно-модулированных сигналов. Современная электроника. 2008. № 2.
5. Антитенский П.В. Моделирование источников преднамеренных помех системам аналоговой связи. Современная электроника. 2008. № 5.
6. Антитенский П.В. Источники преднамеренных помех сигналам с дискретной модуляцией. Современная электроника. 2009. № 4.
7. Saffe R.C. Random Signals for Engineers using MATLAB and Mathcad. Springer, 2000.
8. Коржик В.И., Финк Л.М., Щелкунов К.Н. Расчёт помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений. Радио и связь, 1981.
9. Антитенский П.В., Марек Я.Л., Шляхин В.М. Статистические свойства аддитивной смеси узкополосных помех. Телекоммуникации. 2002. № 11. С. 7–11.
10. Борисов В.И., Зинчук В.М. Помехозащищённость систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. Радио и связь, 2000.
11. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. Солон, 1999.



# Высокоскоростные цифровые платы ADLINK

## Идеальное решение для многоканального высокоскоростного ввода-вывода

### PCIe-7350

50 МГц 32-канальная высокоскоростная плата цифрового ввода-вывода

- Интерфейс PCI Express®
- 32 канала высокоскоростных цифровых входов/выходов по 8 каналов в группе, устанавливаемых на ввод или вывод
- Максимальная частота 50 МГц
- Максимальная пропускная способность 200 Мбайт/с
- Программно устанавливаемый уровень 1,8; 2,5 и 3,3 В

Дополнительно доступны высокоскоростные платы ввода-вывода для cPCI/PCI/PCI Express

> PCIe/PCI-7300A, cPCI-7300

20 МГц, 12 Мбайт/с  
Высокоскоростные 32-канальные платы цифрового ввода-вывода

> PCI/cPCI-7200

2 МГц, 12 Мбайт/с  
Высокоскоростные 64-канальные платы цифрового ввода-вывода

PCI Express®: пропускная способность больше, скорости выше...

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADLINK**

Тел.: (495) 234-0636 • E-mail: [info@prosoft.ru](mailto:info@prosoft.ru) • Web: [www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

Реклама

# MathSpice – аналитический PSpice-движок для OrCAD и MicroCAP.

## Часть 8. Расчёт переходных процессов в нелинейных цепях

Олег Петраков (Москва)

Часто цель научной работы считается достигнутой, если исследуемую физическую систему удалось описать дифференциальными уравнениями и найти способы их решения. Разумеется, полученное решение должно согласовываться с результатами экспериментов. В настоящее время простых задач в науке не осталось, поэтому актуальность машинных методов получения решений очевидна. MSpice сокращает рутинную часть трудоёмкости получения решений нелинейных задач, поскольку система уравнений цепи генерируется автоматически по нарисованной схеме. Остаётся только выбрать метод решения, установить граничные условия и применить Maple.

В радиотехнике, электронике, электротехнике, а также и в других областях часто приходится решать задачи, связанные с переходными процессами в нелинейных цепях. Навык свободного решения этих задач является насущной необходимостью для ряда инженерных и научных работников. В то же время относительная сложность таких задач не позволяет широкому кругу специалистов достаточно свободно подходить к их решению и исследованию. Проблема в том, что здесь нельзя оперировать уравнениями Кирхгофа в их простейшей форме, а приходится применять уравнения в дифференциальной форме для мгновенных значений токов, напряжений и зарядов. Решение этих дифференциальных уравнений и, в частности, определение постоянных интегрирования составляют основную трудность. В случае решения поставленной задачи другими методами, например, методом интеграла Фурье или операторным методом, также имеют место трудности, характерные для исследования переходных процессов.

Следует отметить ещё одно очень существенное обстоятельство. В то время как для ряда характерных, типичных

случаев, относящихся к стационарному режиму, имеются готовые решения, для переходных процессов этих решений значительно меньше и они относятся к частным случаям.

Имеющаяся литература по этому вопросу носит в значительной своей части отвлечённый теоретический характер или представляет собой достаточно сложный для широкого круга специалистов материал, разрозненный в своём конкретном применении к отдельным практическим задачам. Поэтому популяризация инженерных приёмов решения таких задач с помощью вычислительных систем, а также подбор справочного материала, содержащего готовые решения для разнообразных практических случаев, представляет несомненный интерес.

Практически все известные электронные компоненты являются нелинейными, особенно активные. К сожалению, аналитическое решение можно получить только для простых цепей, даже при помощи Maple. Однако и это уже немало, так как ручному расчёту такие цепи практически не поддаются. В Maple можно оперировать решениями, которые не выражаются аналитически в явном виде, как комбинация элементарных функций. При этом возможны все виды математического анализа. Для расчёта сложных нелинейных цепей используют численные методы. При этом решения получаются в виде набора чисел или графиков, что позволяет анализировать решение.

### ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ С НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛЬЮ ДИОДА

Известно, что получить решение нелинейного дифференциального уравнения в явном виде удаётся только для крайне простых задач. Однако Maple способен визуализировать решение таких уравнений и, более того, обращаться с ними как с функциями. Фактически это означает, что если физический объект удалось адекватно представить в виде системы дифференциальных уравнений, то задача в основном решена. Дальнейшее исследование решений этой системы – дело техники и времени.

Ниже показана схема однополупериодного выпрямителя (рис. 1). Диод представлен управляемым источником тока G1, заданным формулой. На диод от источника подаётся синусоидальное переменное напряжение амплитудой 3 В и частотой 50 Гц. В качестве нагрузки подключён резистор R1 номиналом 100 Ом с конденсатором C1 номиналом 470 мкФ. Требуется найти напряжение узла V(2). Очевидно, что придётся решать нелинейное дифференциальное уравнение.

```
> restart: read(`F:/PMAPLE/ESolver.m`); with(MSpice):
> ESolve(DM, `Решение ДУ диода.СКТ`);
```

Получаем дифференциальное уравнение {ODE}:

$$-\left(\frac{d}{dt}V_2(t)\right)C_1 - \frac{V_2(t)}{R_1} + J_S(t) \left[ e^{\left(\frac{A \sin(\omega t) - V_2(t)}{\eta U_T}\right)} - 1 \right] = 0.$$

Граничные условия {ISc}:

$$\{V_2(0)=0\}$$

MSpice v8.97:  
<http://pspicelib.narod.ru>  
 Заданы узлы: {V1} Источники: [VIN]

Аналитическое решение будет весьма сложным, поэтому построим гра-

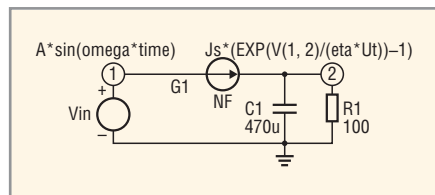


Рис. 1. Схема однополупериодного выпрямителя

фическое решение полученного уравнения для напряжения на диоде  $V2(t)$ .

Введём численные значения номиналов компонентов, параметров модели диода, укажем амплитуду синусоиды 3 В и частоту 50 Гц:

```
> Values (DC,RLCVI, [ ]):
C1:= 470e-6: [470u]
R1:= .1e4: [1K]
VIN:=A*sin(omega*t):
> JS:=1e-8: eta:=1.8: UT:=0.026:
A:=3: omega:=2*Pi*50:
```

Для визуализации решения дифференциальных уравнений в Maple есть функция DEplot(). Подробнее об этой функции можно узнать из [1, 2]. Её аргументами являются система уравнений ODE, имя решения  $V2(t)$  и граничные условия ISc. На указанном в опциях интервале изменения переменной  $t$  она строит график решения системы дифференциальных уравнений. Воспользовавшись ей:

```
> DEplot (ODE, V2 (t), t=0..0.08, ISc,
linecolor=black, title='Рис. 2.
Напряжение V2 (t)');
```

получим график, показанный на рис. 2.

### Разряд гальванического элемента на нагрузку

Mspice позволяет писать формулы на схеме и в формате Maple, и в формате Pspice. Это значительно облегчает труд разработчиков PSpice-моделей, поскольку язык PSpice для них родной и понятный. Получаемая в таком проекте конечная схема фактически есть PSpice-модель, если её переписать в виде NET-листинга. Так можно создавать модели новых электронных приборов.

Рассмотрим эквивалентную электрическую схему гальванического элемента (рис. 3). Она содержит источник ЭДС и последовательный резистор внутреннего сопротивления  $R_{вн}$ . Элемент характеризуется также ёмкостью  $C$ . Известно, что величина ЭДС элемента довольно постоянна и зависит в основном от материалов, использованных для изготовления анода и катода, а  $R_{вн}$  увеличивается по мере разряда элемента. Из этого следует, что внутреннее сопротивление элемента должно быть обратно пропорционально оставшейся в нём энергии. Также известно, что элемент подвержен саморазряду, что эквивалентно некоторому большому сопротивлению  $R_c$ , подключенному параллельно.

Очевидно, что при разряде элемента в нагрузку будет рассеяна энергия, не превышающая запасённую в нём.

Исходя из этого, попробуем составить уравнение и решить эту задачу аналитически, т.е. найти аналитическую зависимость напряжения на нагрузке от времени и построить разрядную кривую.

Запас энергии  $W$  в элементе связан с его ёмкостью  $C$  через константу  $E$ :

$$W = EC.$$

По мере расхода энергии текущий остаток энергии элемента запишется выражением:

$$W(t) = W_0 - W_{\text{расход}}(t),$$

$$\text{где } W_{\text{расход}}(t) = \int_0^t I_E(t) V_{1,N}(t) dt -$$

энергия, рассеянная на всех нагрузках, включая внутреннее сопротивление. На языке PSpice это запишется выражением:

$$W_{\text{расход}}(t) = \text{SDT}(I(E)V(1,N)).$$

Тогда текущий объём энергии в элементе:

$$Wt = W_0 - \text{SDT}(I(E)V(1,N)).$$

Значит, текущая ёмкость элемента запишется как  $Ct = Wt/E$  или

$$Ct = 3600C - \text{SDT}(I(E)V(1,N))/E,$$

где  $C$  измеряется в А ч.

Отсюда текущая проводимость резистора внутреннего сопротивления  $G_{вн} = Ct$ . Таким образом, номинал резистора внутреннего сопротивления определится выражением

$$R_{вн} = 1/Ct = 1/(3600C - \text{SDT}(I(E)V(1,N))/E),$$

где  $C$  измеряется в А ч.

Именно так указано внутреннее сопротивление элемента на рис. 3. Очевидно, что схема, представленная на рис. 3, есть не что иное, как PSpice-модель элемента.

Постановка задачи – наиболее сложный этап поиска решения. MSpice позволяет делать это графически. Формулы можно писать прямо в схеме в формате PSpice или формате Maple, и при этом не надо заботиться о составлении уравнений, они генерируются автоматически. А наша дальнейшая задача сводится к поиску способов его решения.

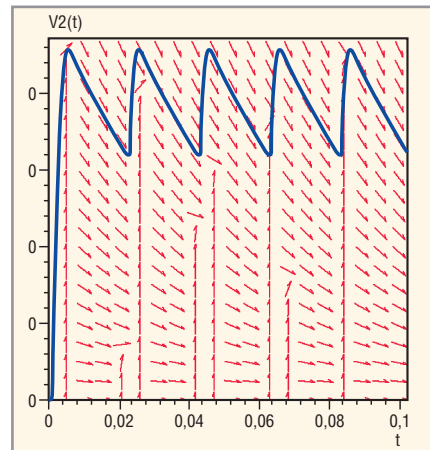


Рис. 2. Рассчитанное выходное напряжение однополупериодного выпрямителя

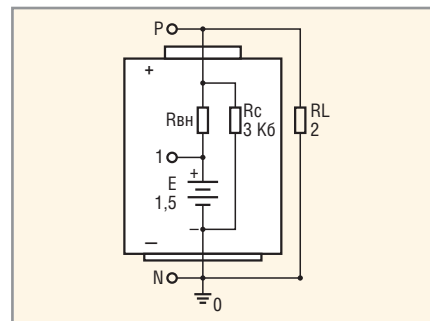


Рис. 3. Эквивалентная схема гальванического элемента с цепями разряда

Итак, определив все параметры схемы и получив NET-листинг, вводим:

```
> restart: read('F:/PMAPLE/ES-
olver.m'): with(SolveNet):
with(DEtools):
>VN(t):=0: V1(t):=E:
>ESolve(SD, `SDTJ_1_DIFC/BAT-
SCHEMATIC1.net`):
```

Получаем дифференциальное уравнение {ODE}:

$$-(VP(t) - E) \times \left( 3600C - \left( \frac{1}{E} \int \left( \frac{VP(t)}{RL} + \frac{VP(t)}{Rc} \right) E dt \right) \right) - \frac{VP(t)}{Rc} - \frac{VP(t)}{RL} = 0.$$

Граничные условия {ISc}:

$$\{VP(t)=0\}$$

```
MSpice v8.97:
http://pspicelib.narod.ru
Заданы источники: [E]
Заданы узлы: {V(1)}
```

Мы получили интегральное уравнение ODE с нулевыми граничными ISc.

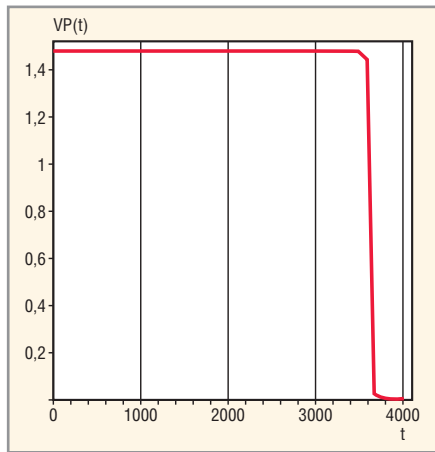


Рис. 4. Разрядная кривая гальванического элемента

Через эти имена можно обращаться к уравнению в рабочем листе Maple.

Решать уравнение будет проще, если свести его к дифференциальному уравнению. Для этого его надо продифференцировать один раз, но для начала несколько преобразуем исходное уравнение, чтобы отделить интегралы. Для этого вводим следующие команды:

```
> A := int (VP (t) /RL+VP (t) /Rc , t) ;
> eq1 :=subs (A=B ,ODE [1] ) ;
> eq2 :=A=solve (eq1 ,B) ;
```

В конце получаем уравнение eq2, где интегралы слева:

$$A := \int \left( \frac{VP(t)}{RL} + \frac{VP(t)}{Rc} \right) E dt ,$$

$$eq1 := -(VP(t) - E) \left( 3600C - \frac{B}{E} \right) - \frac{VP(t)}{RL} - \frac{VP(t)}{Rc} ,$$

$$eq2 := \int \left( \frac{VP(t)}{Rc} + \frac{VP(t)}{RL} \right) E dt = \frac{E(-3600 Rc RL VP(t)C + 3600 RL Rc C E - VP(t) Rc - VP(t) RL)}{Rc RL(-VP(t) + E)} .$$

Теперь однократно продифференцируем уравнение eq2:

```
> ODE :=simplify (diff (eq2 , t) ) ;
```

Получаем дифференциальное уравнение:

$$ODE := \frac{VP(t)(RL + Rc)E}{Rc RL} = - \frac{E^2 \left( \frac{d}{dt} VP(t) \right) (RL + Rc)}{Rc RL(-VP(t) + E)^2} .$$

Попытаемся решить это уравнение в явном виде:

```
> dsolve (ODE , VP (t) ) ;
```

Получаем решение:

$$VP(t) := -e^{\text{RootOf}(-_Z e^{-Z} + t E e^{-Z} + E + \ln(-e^{-Z} + E) e^{-Z} - _C1 E e^{-Z})} + E .$$

Решение получено! Но оно настолько сложно, что лучше иметь дело с исходным уравнением и решить его численно для получения разрядной кривой. Нулевые граничные условия, которые сгенерировал MSpice по умолчанию, нам не подходят. Поэтому сформируем новые. Для этого нам надо найти напряжение VP(t) в момент времени t=0.

Для нулевого момента времени для схемы (рис. 3) можно записать следующее уравнение Кирхгофа:

$$> -(VP(0) - E) / R_{вн}(0) - VP(0) / RL - VP(0) / Rc = 0 ;$$

$$-\frac{VP(0) - E}{R_{вн}(0)} - \frac{VP(0)}{RL} - \frac{VP(0)}{Rc} = 0 .$$

Решив его относительно VP(0), получим:

```
> VP(0) =solve (% , VP (0) ) ;
```

$$VP(0) = \frac{E RL Rc}{RL Rc + R_{вн}(0) Rc + R_{вн}(0) RL} .$$

Сформируем выражение граничных условий в формате, пригодном для использования функцией DEplot():

```
ivs := [%] ;
```

$$ivs := \left[ VP(0) = \frac{E RL Rc}{RL Rc + R_{вн}(0) Rc + R_{вн}(0) RL} \right] .$$

Теперь введём численные значения элементов разрядной схемы и параметров конкретного элемента. В качестве примера возьмём элемент типа AA ёмкостью 750 мАч с номинальным напряжением 1,5 В. Будем разряжать его током 750 мА в течение 4000 с, для этого к батарейке надо подключить нагрузку RL = 2 Ом. Именно такой режим указан на схеме рис. 3.

Из (1) следует, что R<sub>вн</sub>(0) = 1/(3600C), т.к. интеграл в начальный момент времени равен нулю, поскольку расхода энергии ещё не было.

```
> E :=1.5 : C :=750e-3 : RL :=2 :
Rc :=3600 :
> Rвн(0) :=1/ (3600*C) :
```

Теперь можно визуализировать решение нашего уравнения и посмотреть разрядную кривую модели элемента, которая показана на рис. 4. Для этого будем использовать функцию DEplot(), параметрами которой являются: уравнение, искомая переменная и определённые нами граничные условия:

```
> DEplot (ODE ,VP (t) , t=0..4000 ,
ivs ,linecolor=black ,title='Рис. 4.
Разрядная кривая') ;
```

По разрядной кривой (рис. 4) мы видим, что напряжение на выводах элемента близко к величине ЭДС E в течение практически всего времени службы и резко падает, когда внутреннее сопротивление становится соизмеримым с величиной нагрузки. Это близко к реальности, у элемента действительно напряжение весьма стабильно, если он далёк от сильного разряда и при умеренной нагрузке. В реальном элементе действует гораздо большее количество химических, физических и конструктивных факторов, которые мы не учитывали. Поэтому реальная разрядная кривая может быть больше наклонена и может проходить чуть ниже. Строго говоря, напряжение элемента падает при разряде, идеальной «свечной» характеристики у него нет. Однако, чем качественнее элемент, тем больше его разрядная кривая похожа на кривую нашей математической модели.

*Продолжение следует*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П. Maple-9 в математике, физике, образовании. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
2. <http://pspicelib.narod.ru> – методики расчётов с применением математических САПР.



# Проектирование и строительство объектов высоких технологий



M+W GROUP



- Генеральный подрядчик – Проектирование, Закупки, Строительство
- Заводы по производству полупроводников и плоскочелюстных дисплеев
- Проектирование и строительство фабрик для фотоэлектрической промышленности
- Фотоэлектрические электростанции
- Солнечные тепловыделительные электростанции
- Когенерационные и тригенерационные электростанции
- Установки производства газа из биомассы и геотермальные электростанции
- Центры Обработки Данных
- Предприятия авиакосмической промышленности
- Научно-исследовательские центры
- Предприятия автомобильной промышленности и фабрики по производству аккумуляторных батарей
- Проектирование, строительство и автоматизация объектов фармацевтической и химической промышленности

M+W Group предлагает услуги по обеспечению полного жизненного цикла высокотехнологичных заводов, а также инженерные инфраструктуры, включая любые дополнительные услуги и услуги по модернизации и переоснащению существующих производственных объектов по всему миру. Нашими главными клиентами являются ведущие предприятия электронной промышленности, солнечной энергетики, фармацевтики и химической промышленности, автомобилестроения и информационных технологий, а также научно – исследовательские институты и университеты. Холдинговая компания M+W Групп ГмбХ, Штутгарт, управляет международной деятельностью группы. В состав группы, насчитывающей в целом около 4500 сотрудников, входят три основных подразделения – «Инженерные решения», «Технологические решения» и «Индивидуальные решения по продуктам», которые все вместе в 2008 финансовом году заработали около 1,74 миллиарда евро. Владелец компании M+W Групп является австрийская компания Штумпф Групп (Stumpf Group) успешно работающая в разных странах мира в таких областях как Инжиниринг высоких технологий (High-Tech Engineering), Умные и возобновляемые источники энергии (Smart & Renewable Energy), Инвестиции в недвижимость и технологии (Real Estate and Technology Investments).

Реклама

M+W Германия ГмбХ – Компания M+W Групп  
Лоттербергштрассе 30,  
70499 Штутгарт, Германия

## **M+W Group (Headquarters)**

Lotterbergstr. 30, 70499 Stuttgart, Germany  
Тел +49 711 8804-0, [info@mwgroup.net](mailto:info@mwgroup.net)

[www.mwgroup.net](http://www.mwgroup.net)

ООО „М+В Хай Тек Продактс“ -

Компания M+W Групп

123022, г. Москва, Россия

ул. 2-я Звенигородская, д.13, стр. 42

Тел: +7 495 662 32 20

Факс: +7 495 64116 83, [info@mwgroup.net](mailto:info@mwgroup.net)

[www.mwgroup.net](http://www.mwgroup.net)

03.105.02-03.2010

# Разработка приложений на базе операционной системы реального времени RTEMS

Николай Баландин, Александр Крапивный (Москва)

Статья посвящена операционной системе реального времени RTEMS, настройке инструментов для разработки приложений на базе RTEMS и процессу сборки системы.

## ВВЕДЕНИЕ

Операционная система реального времени RTEMS (Real-Time Executive for Multiprocessor Systems) является некоммерческой системой, которая поставляется по модифицированной лицензии GPL, её разработка ведётся с 1988 г. американской компанией OAR Corporation (On-line Applications Research Corporation). Изначально разработка ОС велась по заказу Министерства обороны США, поэтому буква «М» в сокращении RTEMS раньше обозначала Missile и даже Military для исходных текстов, написанных на Ada. На сегодняшний день операционная система RTEMS предоставляется в виде исходных текстов, которые можно скачать с <ftp://ftp.rtems.com>. На начало 2010 г. последней версией RTEMS является 4.10. В данной статье будет рассмотрена последняя стабильная версия 4.9 (осень 2009 г.).

## RTEMS и другие OCPB

Основными конкурентами RTEMS в секторе операционных систем жёсткого реального времени являются QNX, eCos и VxWorks. OCPB QNX поддерживает разные типы архитектур (в том числе x86), но поставляется по проприетарной лицензии. Начиная с конца 2007 г. компания QNX Software Systems приступила к постепенному открытию исходного кода QNX Neutrino под лицензией смешанного

типа, которая позволяет свободным разработчикам получить доступ к исходным текстам. Но для коммерческого использования необходимо приобрести соответствующую лицензию. Компания QSS запрещает проводить сертифицирование производных от исходных текстов QNX программных продуктов без письменного разрешения компании QSS. OCPB VxWorks является одной из самых известных операционных систем жёсткого реального времени, но поставляется по проприетарной лицензии и имеет закрытый исходный код. OCPB eCos поставляется как по свободной, так и по проприетарной лицензии, и хотя утверждается, что свободная версия является стабильной и полностью протестированной, в ней не реализованы или не обновляются некоторые дополнительные возможности, например, стек сетевых протоколов TCP/IP не соответствует сегодняшним стандартам.

## Концепция RTEMS

RTEMS использует принцип SUSP (single user, single process: один пользователь, один процесс, много потоков – задач, стандарт POSIX 1003.1b). Большая часть исходного кода системы является платформонезависимой, благодаря этому RTEMS поддерживает разные типы архитектур, и приложения, написанные под один тип процессоров, могут быть перенесены на другие архитектуры ЭВМ. На настоящий момент RTEMS поддерживает следующие архитектуры:

- SPARC;
- Intel 386 и выше;
- Motorola 68k;
- ARM;
- Mips
- Blackfin;
- PowerPC.

RTEMS имеет следующие возможности:

- многозадачность;
- поддержку многопроцессорных систем;
- поддержку стандартного стека сетевых протоколов TCP/IP, перенесённого с FREE BSD;
- поддержку файловых систем FAT, NFS, IMFS, TFTP;
- динамическое выделение памяти;
- большое разнообразие реализуемых механизмов синхронизации, взаимодействия задач и управления приоритетами;
- возможности оптимизации работы и размера системы при правильной настройке параметров конфигурации системы;
- наличие командного интерпретатора;
- поддержку POSIX 1003.1b, ITRON 3.0.

Структура приложения на базе RTEMS представлена на рис. 1. Помимо вышеперечисленных преимуществ, OCPB RTEMS имеет три основных недостатка:

- RTEMS является «глубоко встраиваемой» системой (Deeply Embedded), предполагается, что алгоритм или настройки не будут меняться, поэтому отсутствуют загружаемые модули;
- RTEMS не имеет поддержки журналируемых файловых систем (Ext3, ReiserF);
- RTEMS не располагает стандартными резидентными средствами отладки.

RTEMS может рассматриваться как набор компонентов, предоставляющих набор сервисных функций для работы приложения реального времени. Прикладной интерфейс RTEMS сформирован распределением сервисных функций по логически подобранным наборам, называемым менеджерами. Базовые функции, используемые несколькими менеджерами, такие как планирование, диспетчеризация и управление объектами, реализованы в ядре (core). Рисунок 2 показывает организацию ядра и менеджеров RTEMS.

В RTEMS 4.9.0 реализованы следующие менеджеры:

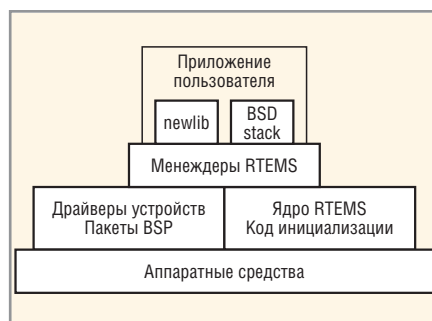


Рис. 1. Структура приложения на базе RTEMS

- менеджер задач (task manager) – выполняет функции создания и удаления задач и управления ими;
- менеджер прерываний (interrupt manager) – даёт быстрый ответ на внешние прерывания;
- менеджер времени (clock manager) – поддерживает дату, время и другие возможности, связанные с отчётом времени;
- менеджер таймеров (timer manager) – управляет таймерами;
- менеджер семафоров (semaphore manager) – управляет семафорами для синхронизации;
- менеджер сообщений (message manager) – обеспечивает связь и синхронизацию через очереди сообщений;
- менеджер событий (event manager) – обеспечивает связь и синхронизацию через события;
- менеджер сигналов (signal manager) – обеспечивает асинхронную связь через сигналы;
- менеджер разделов (partition manager) – обеспечивает динамическое выделение памяти блоками фиксированного размера;
- менеджер регионов (region manager) – обеспечивает выделение памяти блоками переменного размера;
- менеджер двухпортовой памяти (dual ported memory manager) – механизм преобразования адресов между внутренними и внешними областями двухпортовой памяти;
- менеджер ввода-вывода (I/O manager) – обеспечивает доступ к драйверам устройств;
- менеджер обработки неисправимых ошибок (fatal error manager);
- менеджер монотонной частоты (rate monotonic manager) – реализует периодически выполняемые задачи, собирает статистику о выполнении;
- менеджер расширений пользователя (user extensions manager) – дополняет ядра функциями пользователя, которые будут вызываться при критических системных событиях;
- менеджер многопроцессорности (multiprocessing manager);
- менеджер инициализации (initialization manager) – инициализирует и выключает RTEMS.

В приложениях реального времени важную роль играет возможность взаимодействия и синхронизации задач. RTEMS поддерживает следующие виды синхронизации и взаимодействия:

- обмен данными между задачами;

- обмен данными между задачами и процедурами обслуживания прерываний (ISR);
  - синхронизация между задачами;
  - синхронизация между задачами и процедурами обслуживания прерываний.
- Рассмотрим работу RTEMS на процессорах семейства Intel x86. RTEMS использует защищённый режим, плоскую модель памяти и не использует страницы. Код пользователя, как и ядра, работает на высшем уровне привилегированности Ring 0, поэтому в программе пользователя возможно выполнение привилегированных инструкций процессора. По умолчанию RTEMS обрабатывает ошибки типа fatal error следующим образом: выполняется инструкция CLI (запрещаются прерывания), в регистр eax помещается код ошибки и выполняется инструкция HLT (процессор останавливается, так как прерывание не наступит).

RTEMS использует следующие сегменты в памяти:

- один сегмент кода, который содержит весь код приложений и ядра;
- один сегмент данных, который содержит все данные приложений и данные ядра.

Для быстрого переключения задач RTEMS использует один процесс и много потоков, вследствие этого возникает опасность повредить данные, или код других потоков, или ядра при неправильной работе с указателями в одном из потоков пользователя.



Рис. 2. Организация ядра RTEMS

### РАЗРАБОТКА

Разработка RTEMS-приложений происходит на двух машинах: основной или инструментальной (host platform) и целевой (target platform). На основной машине должна быть установлена ОС Linux, Windows, BSD или Solaris, а также средства разработки (компилятор и утилиты для сборки) и средства для кросс-компиляции (GNU tools).

Сразу стоит отметить, что разработка на Windows требует установки пакета Cygwin поддержки выполнения программ для Linux в среде Windows, при этом и так не быстрая сборка будет проходить примерно в пять раз медленнее, чем в Linux, и возможно появление непредсказуемых ошибок (производитель OAR Corp. рекомендует использовать Unix-системы). Для разработки на Linux нужно иметь достаточно много свободного места на жёстком диске: распакованные исходные тексты занимают около 80 Мб (примерно 8000 файлов), распако-

## Лучшее решение для общего освещения

**Серия: RA30**



**Световая эффективность 107лм/Вт**

**Цена 3 руб**



**Серия: FA50**



**Световая эффективность 100лм/Вт**

**Цена 9 руб**



Электронные компоненты

**www.e-neon.ru**

Тел./факс: (812) 335-00-65, (495) 725-26-79, (4732) 39-44-46

ванные инструменты для сборки – до 350 Мб, место для установки – до 200 Мб, временный каталог для сборки – до 750 Мб. После установки инструментов для сборки RTEMS должна быть собрана под определённую архитектуру процессора и должны быть установлены пакеты поддержки платы BSP (Board Support Package).

Базовыми для сборки RTEMS являются компилятор gcc (для RTEMS 4.9 версия не ниже 4.3.2) и утилита GNU make, на них устанавливаются специальные дополнения для RTEMS. Уточнить версию компилятора можно командой `gcc –version`. Если версия компилятора удовлетворяет требованиям, можно переходить к установке пакетов для RTEMS. Устанавливать их можно двумя способами: собирать из исходников с наложением патчей или ставить RPM-пакеты (подходит для OpenSuse, RedHat, Fedora, CentOS). Также одной из задач сообщества разработчиков RTEMS является создание пакетов для Debian.

### СБОРКА ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ

В общем случае для сборки из исходников нужно скачать соответствующие версии архивов с `ftp://ftp.rtems.com`, а затем распаковать их. Для сборки необходимо поставить базовые пакеты GCC, NEWLIB и BINUTILS, затем их дополнения для RTEMS. Порядок выполнения сборки и установки:

- создаём папку `tools` и сохраняем в ней архивы с исходными текстами пакетов `gcc`, `binutils`, `newlib`, `autoconf`, `automake`;
- распаковываем исходные тексты для `tar.gz` и `tar.bz2`:

```
$ cd tools
$ tar -xzf toolname.tar.gz
$ tar -jxf toolname.tar.bz2
● добавляем патчи:

$ cd gcc-4.3.2
$ cat ../gcc-4.3.2-rtems-20090909.diff | patch -p1
```

- те же самые действия производим и для `binutils`, `newlib`, `autoconf` и `automake`;
- начинаем последовательно сборку и установку сначала `binutils`, потом `gcc` и `newlib`:

```
$ mkdir build-binutils
$ cd build-binutils
```

```
$ ./binutils/configure --
target=i386-rtems-4.9 --
prefix=/opt/rtems-4.9
$ make all
$ make info
$ sudo make install
```

Для установки `gcc` и `newlib` необходимы работающие `binutils`, поэтому нужно указать путь к уже установленным утилитам:

```
$ export PATH=$PATH:/opt/rtems-4.9/bin
```

Если путь `/opt/rtems-4.9` не будет зафиксирован в переменной окружения `PATH`, то при сборке `gcc` и `newlib` возникнут ошибки. `gcc` и `newlib` собираются по такому же принципу, как и `binutils`.

### УСТАНОВКА RPM-ПАКЕТОВ

Существенно более простым способом установки инструментов для сборки RTEMS является установка готовых RPM-пакетов. На FTP RTEMS имеются последние версии готовых пакетов для RedHat, OpenSuse, Fedora и CentOS. Порядок установки на OpenSuse 11.1 (RPM-пакеты взяты с `ftp://ftp.rtems.com` и помещены в папку `RPMS`):

```
$ cd RPMS;
$ sudo rpm -U rtems-4.9-binutils-
common-2.19-3.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-i386-
rtems4.9-binutils-2.19-
3.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-gcc-com-
mon-4.3.2-23.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-newlib-
common-1.16.0-
23.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-i386-
rtems4.9-newlib-1.16.0-
22.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-i386-
rtems4.9-gcc-4.3.2-22.su-
se11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rpm -U rtems-4.9-
i386-rtems4.9-gcc-c++-4.3.2-
22.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-autoconf-
2.62-4.suse11.1.noarch.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-automake-
1.10.1-4.suse11.1.noarch.rpm
```

Пакеты нужно устанавливать в строку определённом порядке, поскольку между ними имеются зависимости. Проверить правильность установки

можно, посмотрев содержимое папки `/opt/rtems-4.9/` (компилятор будет находиться в `/opt/rtems-4.9/bin/`). Также, если необходим кросс-отладчик GDB, устанавливаем пакеты `gdb-common` и `gdb-i386-rtems-4.9` (они требуют уже установленного отладчика GDB):

```
$ sudo rpm -U rtems-4.9-gdb-com-
mon-6.8-11.suse11.1.i586.rpm
$ sudo rpm -U rtems-4.9-i386-
rtems4.9-gdb-6.8-
11.suse11.1.i586.rpm
```

### УСТАНОВКА ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ СИСТЕМЫ

Исходные тексты последней версии системы доступны на `ftp://ftp.rtems.com`. Помещаем архивы `rtems-4.9.0.tar.bz2` и `examples-4.9.0.tar.bz2` (примеры приложений) в домашний каталог и распаковываем их:

```
$ cd ~
$ tar -jxf rtems-4.9.0.tar.bz2
$ tar -jxf examples-4.9.0.tar.bz2
```

Исходные тексты разделены на следующие папки:

- `autoconf/` – содержит скрипты `autoconf.ac` для генерации `configure`;
- `automake/` – содержит скрипты `Makefile.am` для генерации `Makefile`;
- `c/` – часть исходных текстов, которые являются зависимыми от модели процессора и BSP;
- `crunit/` – платформонезависимая часть кода (TCP/IP, FTP, HTTP и т.д.);
- `doc/` – текстовые файлы для генерации документации в форматах `info`, `HTML`, `Pdf`;
- `make/` – файлы для поддержки `Makefile`-ов пользователя;
- `testsuites/` – примеры программ работы с различными API и библиотеками;
- `tools/` – специальные утилиты.

Стоит также отметить, что программисты, для которых привычным является графический интерфейс, могут воспользоваться средой разработки `KDevelop` или `Eclipse` в ОС Linux.

### СБОРКА СИСТЕМЫ

Перед компиляцией необходимо исправить строку 161 файла `/opt/rtems-4.9/i386-rtems4.9/include/sys/unistd.h`, в ней заменяем `int_EXFUN(ttyname_r, (int, char *, size_t))` на `int_EXFUN(ttyname_r, (int, char *, int))`. Это исправление не является исправлением

ошибки в системе, оно необходимо для компилятора gcc-4.3.2.

Экспортируем путь к компилятору:

```
$ export PATH=$PATH:/opt/rtems-4.9/bin
$ cd ~
$ mkdir build
$ cd build
$ ../rtems-4.9.0/configure --target=i386-rtems4.9 \
--enable-rtemsbsp=pc386 \
--prefix=/opt/rtems_1 \
--enable-posix \
--enable-networking \
--disable-itron \
--disable-cxx
$ make all
$ sudo make install
```

Эта команда соберёт RTEMS для процессора Intel 386 или выше с поддержкой системного интерфейса POSIX, стека сетевых протоколов FreeBSD и без поддержки системного интерфейса Itron и языка C++. Опция --prefix отвечает за путь, по которому будет произведена установка RTEMS.

Установка производится командой make install (с правами суперпользователя).

### СБОРКА ПРИЛОЖЕНИЙ

Вместе с исходными текстами RTEMS поставляются простые примеры программ и Makefile-ов, для того чтобы разработчик смог быстро начать писать собственные RTEMS-приложения. В приложениях можно указывать такие параметры конфигурации системы, как ограничение на максимальное количество задач, таймеров, семафоров, использование определённых драйверов и т.д.

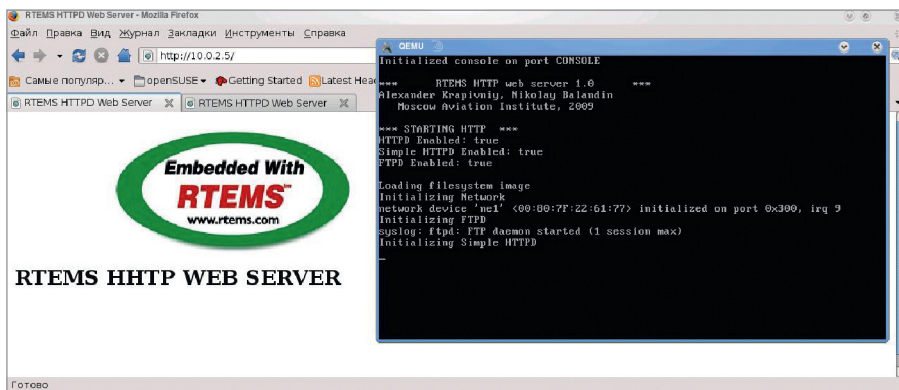


Рис. 3. Web-сервер на базе RTEMS

Перед сборкой помимо пути к компилятору i386-rtems-gcc-4.3.2 нужно экспортировать путь к установленной RTEMS, на базе которой мы хотим собрать наше приложение. Если на одной машине мы разрабатываем, например, приложения для разных процессоров или разных BSP, в каталоге /opt у нас будет установлено несколько разных версий RTEMS, и мы должны указать путь именно к той, которая нам нужна:

```
$ export RTEMS_MAKEFILE_PATH=/opt/rtems_1/i386-rtems4.9/pc386
$ make
```

В общем случае этот путь выглядит так {install\_point}/{cpu\_model}/{bsp}/.

В результате успешной компиляции в папке с программой file.c появляется папка o-optimize, а в ней file.exe – это и есть образ нашего RTEMS-приложения.

Запустить приложение можно как в эмуляторе Qemu, предварительно настроив его с загрузчиком GRUB, так и на целевой машине, загрузив образ file.exe при помощи GRUB с жёсткого диска, дискеты или CD-ROM. На рис. 3 показан web-сервер на базе RTEMS, за-

пущенный в эмуляторе Qemu, и браузер Firefox на локальной машине, принимающий html-страницу с web-сервера RTEMS через виртуальную сеть.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день ОСРВ RTEMS является одной из немногих доработанных и документированных операционных систем реального времени, имеющих открытый исходный код и довольно небольшие требования к объёму памяти и быстродействию процессора, среди подобного класса систем и имеет положительный опыт применения в военных космических системах. Также стоит отметить, что в завершающей стадии находится работа по переносу исходного текста RTEMS для работы на микроконтроллерах AVR32 фирмы Atmel.

### ЛИТЕРАТУРА

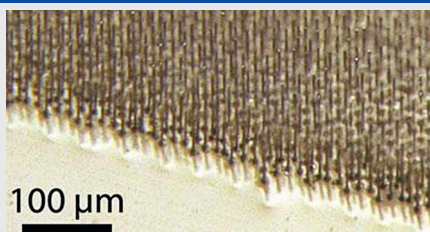
1. Getting Started with RTEMS.
2. RTEMS Applications C User's Guide.
3. RTEMS POSIX API User's Guide.
4. RTEMS Development Environment Guide.
5. RTEMS CPU Supplement.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Разработаны недорогие солнечные элементы из пластика

Исследователи Калифорнийского технологического института (California Institute of Technology, Caltech) разработали гибкие солнечные элементы, поглощающие до 96% падающего света. Столь высокий результат достигнут за счёт особой конструкции элементов: на пластиковой подложке расположены вертикально-ориентированные кремниевые штырьки. Разработчики отмечают очень низкую стоимость используемых материалов, поскольку элемент на 98% состоит из пластика, а доля дорого-



стоящих фотовольтных материалов в 50 раз меньше, чем в традиционных батареях.

Экспериментальные образцы предлагаемого решения демонстрируют до 90% КПД, тогда как этот показатель для лучших образцов кремниевых элементов составляет всего 25%. Руководитель группы исследователей Гарри Этвотер (Harry Atwater) говорит,

что разреженный массив светочувствительных волосков не только повышает площадь поглощающей поверхности, но и способствует концентрации светового потока. Кремниевые стержни или волоски толщиной всего 1 мкм и длиной от 30 до 100 мкм покрыты прозрачным пластиком. Часть светового потока, не поглощённая стержнем, отражается от подложки и попадает на другие стержни, увеличивая тем самым коэффициент поглощения. В настоящее время исследователи работают над увеличением размера нового элемента, чтобы изготавливать целые рулоны таких солнечных батарей.

Caltech

# Низкочастотное проявление поверхностного эффекта в звуковых кабелях

Александр Майстренко (Москва)

**О скин-эффекте и методах борьбы с ним знает каждый специалист, работающий с относительно высокочастотными приложениями. Принято считать, что он проявляется на частотах, начинающихся с сотен килогерц, а в звуковом диапазоне им можно пренебречь. Но оказывается, поверхностный эффект создаёт проблемы в межблочных и акустических кабелях именно на низких частотах!**

Начну статью примерами из собственной практики.

Как-то раз для изготовления межблочных проводов я приобрёл на радиорынке два куска прекрасного высокочастотного коаксиального кабеля: центральная жила и оплётка из посеребрённой меди, фторопластовая изоляция. Куски кабеля отличались лишь диаметром: один из них был тонким, внешний диаметр 3 мм, другой толще, внешний диаметр 6 мм. Первым пошёл на изготовление метрового межблочного провода тонкий кабель. Его испытание поставило меня в тупик: басы отсутствовали. Поверить в подобное человеку, который не слышал это своими ушами, невозможно, но это факт. Кстати, потеря басов на тонких проводах (т.н. «шнурках») замечалась мной и раньше, но в данном случае эффект был особенно выраженным. Затем был испытан более толстый кабель. Басы были тоже ослаблены, но в меньшей степени. Интересно: материалы как проводников, так и изолятора в этих кабелях одинаковы, длина кабелей одинакова, отличаются они лишь диаметром, а звук дают разный. Загадка осталась неразрешённой. Потерпев неудачу с посеребрёнными коаксиальными проводами, я сделал межблочный кабель в виде двухпроводной линии из литцендрата. Кабель дал хорошо сбалансированный во всём частотном диапазоне звук.

Аналогичную картину я наблюдал, экспериментируя с акустическими проводами. Кабель из посеребрённой меди звучал звонко, но без басов, он годился только лишь для подключения ВЧ-динамиков в двухпроводной (bi-wiring) системе. Равный по сечению кабель из чистой меди без покрытия звучал более сбалансированно.

Но самый неожиданный результат показал самодельный кабель из литцендрата: он не только продемонстрировал характерный для серебра звонкий верх, но и «вытащил» откуда-то глубокий бас, которого я раньше от своей акустики не слышал. Кроме того, существенно улучшилась и локализация кажущихся источников звука. Мои наблюдения подтвердил также и мой знакомый, которому я дал эти кабели для прослушивания, не сообщая, разумеется, о своих наблюдениях. Литцендрат задал мне очередную загадку: если улучшение звучания на высоких частотах за счёт подавления скин-эффекта ещё кое-как можно объяснить, то ярко выраженный эффект на низких частотах никакому объяснению не поддавался.

Давайте всё же попытаемся решить эту задачу и понять, почему даже метровый отрезок провода может испортить звук. Для этого рассмотрим самую простую модель поверхностного эффекта, т.е. зависимости сопротивления проводника от частоты:

$$Z(\omega) = \frac{L\sqrt{j\omega\mu\rho}}{\pi d},$$

где  $L$  – длина проводника;  $\omega = 2\pi f$  – циклическая частота;  $\mu = 4 \times 10^{-7}$  – абсолютная магнитная проницаемость;  $\rho$  – удельное сопротивление проводника;  $d$  – диаметр проводника.

Я сейчас не конкретизирую, что представляет собой этот проводник: он может быть центральной жилой межблочного коаксиального кабеля или одним из двух проводов, соединяющих выход усилителя с акустической системой. Не учитываются более тонкие эффекты, происходящие в реальных кабелях, например, увеличение

индуктивности кабеля с понижением частоты сигнала и влияние проводников кабеля друг на друга, называемое эффектом близости. Я специально выбрал наиболее простую модель поверхностного эффекта как позволяющую получить наиболее наглядный результат. На данном этапе не ставится задача получить точные цифровые данные, характеризующие действие поверхностного эффекта на низких частотах, точность этой модели нас вполне устроит.

Дальнейшее рассмотрение будем проводить для простейшей схемы, содержащей идеальный источник сигнала, проводник, имеющий частотно-зависимое сопротивление  $Z(\omega)$  и нагрузочный резистор  $R$ . Как известно, коэффициент передачи этой цепи составляет:

$$K(\omega) = \frac{R}{R + Z(\omega)}.$$

Разумеется, анализ частотной зависимости модуля коэффициента передачи не показывает никакого спада на низких частотах. В чём же тогда дело? Давайте проанализируем фазу коэффициента передачи, а точнее, групповое время задержки (ГВЗ), определяемое как отрицательное значение производной фазы коэффициента передачи по частоте:

$$T(\omega) = -\frac{d}{d\omega} \arg(K(\omega)).$$

Можно показать, что в случае  $Z(\omega) \ll R$  и после перехода к более удобной для нас частоте  $f$  ГВЗ составляет:

$$T(f) = \frac{L\sqrt{\mu\rho}}{4R\pi d\sqrt{\pi f}}.$$

Анализ этой функции не представляет труда. Как видим, ГВЗ пропорционально длине проводника  $L$  и обратно пропорционально периметру поперечного сечения проводника  $\pi d$ , а также сопротивлению нагрузки  $R$ . Кроме того, ГВЗ растёт обратно пропорционально корню из частоты



# ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДОВ

**Стабильно и надёжно!**

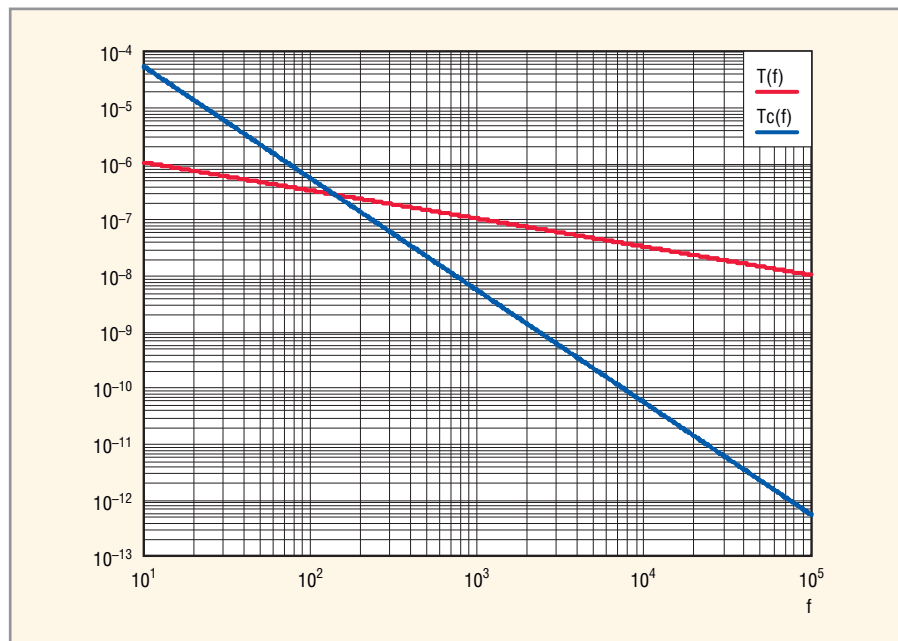
Драйверы XLight® предназначены для электропитания от сети переменного тока источников света на базе мощных светодиодов. Драйверы являются источниками стабилизированного тока.

Использование в составе драйверов новейших схемотехнических решений и высококачественной элементной базы позволяет обеспечить высокий КПД, а также высокую точность стабилизации рабочего тока полупроводниковых ламп в широком диапазоне температур.

Драйверы XLight®, обладая соответствующим классом защиты и сроком службы, могут применяться как во внутреннем освещении, так и в наружной архитектурной подсветке.

Наименование драйвера	Входное напряжение, В	Выходной ток, мА	Выходное напряжение, В	Выходная мощность (макс.), Вт	Количество последовательно соединённых светодиодов		Класс защиты	Температура эксплуатации, °С	Габаритные размеры, мм
					белые, синие, голубые, зелёные	жёлтые, оранжевые, красные			
 XLD-PS-230035AFS-10W	230±10%	350	3...29	10	1...9	1...13	IP40	-20...+60	143×34×26
 XLD-PS-230035C-10W	230±10%	350	3...29	10	1...9	1...13	IP67	-40...+85	97,5×40,5×31
 XLD-PS-230035IP-13W	140-240	350	20...40	13	7...12	9...17	IP20	-40...+50	130×29×23
 XLD-PS-230035IP-25W	230±10%	350	40...75	25	11...24	16...30	IP40	-40...+50	158×46×34
 XLD-PS-230050IP-40W	230±10%	500	30...60	40	8...19	12...26	IP40	-40...+50	158×46×34

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ XLIGHT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



Групповое время задержки, вызванное поверхностным эффектом (красная линия) и разделительным конденсатором (синяя линия)

ты  $f$ , увеличиваясь на низких частотах.

Логично предположить, что именно обусловленное поверхностным эффектом увеличение ГВЗ и вызывает ощущение потери низких частот в звуковом сигнале.

Давайте перейдем к конкретным примерам. Например, давайте подсчитаем ГВЗ, возникающее на частоте 20 Гц в двухжильном медном проводе сечением 0,75 мм<sup>2</sup> и длиной 2 м при сопротивлении нагрузки 8 Ом. Этот случай довольно типичный: обычно именно таким проводом, предназначенным для электропроводки, и подсоединяют к усилителю акустические системы люди, знакомые с законом Ома, но не знакомые с ГВЗ. Признаюсь, я через это тоже прошёл, именно таким и был мой первый акустический кабель. Подставляя в формулу  $d=0,001$  м,  $L=4$  м,  $\rho=1,72 \times 10^{-8}$  Ом, получаем  $T(20) = 740$  нс. Частотная зависимость  $T(f)$  для данного случая показана на рисунке красной линией.

Доли микросекунды – много это или мало? Кажется, что мало. Но для сравнения давайте проведём расчёт для другого случая: оставив прежней длину провода, увеличим его сечение до 4 мм<sup>2</sup>, набрав это сечение из изолированных проводников диаметром 0,1 мм. Это тот самый литцендрат, о котором я писал выше. Но как быть с формулой для ГВЗ, она ведь выведена для одиночного проводника? Обратим внимание на знаменатель: произведение  $\pi d$  является периметром попереч-

ного сечения провода. Именно от периметра, а не от площади проводника зависит ГВЗ. Следовательно, нам надо найти и подставить в формулу суммарный периметр поперечного сечения  $n$  проводников литцендрата:

$$T(f) = \frac{L \sqrt{\mu \rho}}{4 R n \pi d \sqrt{\pi f}}$$

Число проводников диаметром  $d$ , необходимых для набора суммарной площади поперечного сечения  $S$ , легко подсчитать по формуле:

$$n = \frac{4S}{\pi d^2}$$

Для нашего примера получаем  $n = 510$ , а ГВЗ на частоте 20 Гц составляет:  $T(20) = 14,5$  нс.

Снижение ГВЗ в 51 раз радикально отразилось на звуке! Значит, ГВЗ, равное 740 нс, совсем не мало! А 14,5 нс – мало? Боюсь, что тоже нет! Давайте рассчитаем ГВЗ, возникающее в тонком межблочном «шнурке». Для этого зададимся длиной  $L = 1$  м, диаметром центральной жилы 0,1 мм и сопротивлением нагрузки 47 кОм, характерном для транзисторного усилителя. Этот вариант представляется мне примерной границей «заметности» межблочного кабеля. Подставляем данные в формулу и получаем:  $T(20) = 314$  пс.

Трудно поверить в то, что столь малое ГВЗ ощутимо. Но давайте вспомним, о каком времени идёт речь, когда мы боремся с джиттером в CD-плеерах:

в 10 раз меньше! Предвижу очередное возражение: если мы замечаем столь малые ГВЗ, то как быть с куда более существенными ГВЗ, вносимыми акустическими системами или хотя бы даже частотно-зависимыми элементами усилителей и плееров? В таком случае даже включение в тракт обычного разделительного конденсатора должно привести к катастрофическому результату, но ведь это далеко не так!

Давайте посмотрим, какое ГВЗ возникает при передаче звукового сигнала через конденсатор ёмкостью 100 мкФ на нагрузку сопротивлением 47 кОм. Результат моделирования ГВЗ для этой схемы показан на рисунке синей линией. Сравним его с ГВЗ, рассчитанным для кабеля, сильно окрашивающим звук; оно показано красной линией. В диапазоне 100...200 Гц ГВЗ для обоих случаев примерно равно. Но частотные зависимости ГВЗ радикально отличаются друг от друга. ГВЗ, обусловленное разделительным конденсатором, меняется обратно пропорционально квадрату частоты: при увеличении частоты в 10 раз ГВЗ уменьшается в 100 раз. Для ГВЗ, вызванного поверхностными эффектами, характерна совсем другая зависимость: при увеличении частоты в 100 раз оно уменьшается в 10 раз, обратно пропорционально корню из частоты. Вполне допускаю мысль, что наш слуховой аппарат гораздо более чувствителен к изменениям ГВЗ, вызванного частотно-нелинейными элементами, чем частотно-линейными: конденсаторами и катушками индуктивности. Если проводить аналогию с нашим восприятием нелинейных и линейных (частотных) искажений, то уместно вспомнить, что мы прекрасно идентифицируем искажения, вносимые, например, усилителем, хотя они на несколько порядков меньше искажений, вносимых акустическими системами.

Вот и раскрылась загадка потери басов в тонких проводах! Уменьшение диаметра акустических проводов или диаметра центральной жилы межблочного кабеля увеличивает ГВЗ на низких частотах, приводя к ощущению потери басов. Но почему исчезновение баса так хорошо заметно именно на посеребрённом проводе? Именно потому, что серебрение способствует поверхностному эффекту, токи быстрее вытесняются из центра проводника на серебряную поверхность, имеющую меньшее по сравнению с медной

серединой удельное сопротивление. В качестве контрмеры можно предложить покрытие материалом с большим по сравнению с медью удельным сопротивлением, например лужение.

Сейчас я дам бесплатную идею производителям дорогостоящих аудиофильных кабелей: медные провода надо золотить! Удельное сопротивление золота несколько выше, чем меди, что способствует подавлению поверхностного эффекта. Золото не окисляется, поэтому свойства кабеля не будут меняться со временем. Внешний вид золочёных проводов в прозрачной изоляции будет просто потрясающим! А уж сколько денег можно будет «срубить» с любителей аудиофильного эксклюзива!

Но мы пойдём другим путём. Применим вместо золота изолятор в виде лака или шёлка и получим литцендрат. Собственно, литцендрат и был придуман как способ борьбы с поверхностным эффектом на высоких частотах, но прекрасно работает и на низких. При равной площади сечения одиночной жилы и литцендрата периметр сечения последнего больше в корень из числа жилок, его составляющих. Почувствуйте разницу, как любят говорить в рекламных роликах!

Мне вспоминается наблюдение одного моего знакомого. Он, экспериментируя с акустическими проводами, решил использовать телевизионные кабели с добротной медной оплёткой. Не помню точно, использовалась ли при этом центральная жила кабеля, возможно, что нет. Я тогда довольно скептически отнесся к его эксперименту и поленился ехать на прослушивание, хотя он был в восторге от результата. А теперь понимаю, что результат действительно должен был оказаться неплохим, поскольку поверхностный эффект в таком проводе значительно подавлен.

В заключение хочу напомнить, что приведённые числовые данные получены в результате использования простейшей модели поверхностного эффекта. Расчёты по более точным формулам, учитывающим геометрию кабеля и увеличение индуктивности кабеля при снижении частоты, дают значения ГВЗ примерно на 40% выше. Но, тем не менее, из проведённого исследования можно сделать несколько выводов:

- поверхностные эффекты в проводниках проявляются и на низких частотах.

В этом диапазоне они приводят не к заметному увеличению сопротивления проводников и снижению коэффициента передачи кабеля, а к увеличению группового времени запаздывания (ГВЗ), воспринимаемому как потеря басов и нарушение локализации кажущихся источников звука;

- ГВЗ, вызванное поверхностными эффектами, обратно пропорционально корню из частоты, в то время как ГВЗ, вызванное конденсаторами и катушками, обратно пропорционально квадрату частоты. Возможно, по этой причине мы замечаем вызванное поверхностным эффектом ГВЗ даже в доли наносекунд;
- вызванное поверхностными эффектами ГВЗ обратно пропорционально периметру поперечного сечения провода. Для уменьшения ГВЗ следует увеличивать диаметр проводов или применять литцендрат;
- ГВЗ прямо пропорционально длине провода. Для уменьшения окраски звука сокращайте длину звуковых проводов;
- ГВЗ обратно пропорционально сопротивлению нагрузки. Входное со-

противление ламповых усилителей в 10...20 раз выше, чем транзисторных, поэтому они более «всеядны» в отношении межблочных кабелей. Низкий импеданс акустических систем способствует очень заметному проявлению поверхностного эффекта в акустических проводах;

- ГВЗ растёт пропорционально корню из удельного сопротивления материала проводов. По мнению наблюдателей, провода из чистого серебра дают заметное улучшение качества звука. Затеея одной известной фирмы с межблочными проводами из углеродного волокна представляется мне лишённой смысла даже для ламповых усилителей;
- технологии, способствующие проявлению поверхностного эффекта, например, серебрение медных проводов, приводят к увеличению ГВЗ на низких частотах, воспринимаемому как потеря басов. При выборе или самостоятельном изготовлении звуковых кабелей желательно отдавать предпочтение технологиям, подавляющим поверхностный эффект и эффект близости. ©

## TDK-Lambda

### Практически для любых применений!



### Универсальные AC/DC-преобразователи серии HWS

- Универсальный вход 85...265 В (47...63 Гц) или 120...370 В постоянного напряжения
- Выходные мощности от 15 до 1500 Вт
- Выходные напряжения от 3,3 до 48 В
- Высокие энергетические показатели качества
- Монтаж на шасси и DIN-рейку
- Диапазон рабочих температур от -40 до +71°C (специальное исполнение)
- Устойчивость к вибрационным и ударным воздействиям: MIL-STD-810F
- Исполнение для применения в медицинском оборудовании
- Широкий набор сервисных функций
- Гарантия обеспечивается в течение всего срока эксплуатации

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ TDK-LAMBDA В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

**PROSOFT®**

Тел.: (495) 232-2522 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Реклама

# К 70-летию создания первых РЛС дальнего обнаружения

**Владимир Бартенев (Москва)**

**В этом году исполняется 70 лет со дня создания первых серийных отечественных РЛС дальнего обнаружения РУС-2. О том, как они были созданы, и пойдёт речь в этой статье.**

Сейчас, накануне юбилейной даты 65-летия разгрома фашистской Германии в Великой Отечественной войне, многие обращаются к воспоминаниям, историческим фактам, пытаются понять, что способствовало победе нашего народа в этой жесточайшей в истории человечества войне. На первое место всегда ставятся героизм, патриотизм и любовь нашего народа к Отчизне. Однако в последнее время повышенный интерес российской общественности вызывают и другие слагаемые великой Победы, связанные с созданием оружия возмездия. Много статей и исторических фактов посвящено знаменитым танкам, легендарным «Катюшам», и, конечно же, нашим истребителям и бомбардировщикам тех времен. А вот об отечественной радиоэлектронике, в частности радиолокационной технике, информация практически отсутствует. А ведь роль станций дальнего обнаружения вражеских самолётов во время войны была огромна.

9 августа 1921 г. постановлением Совета труда и обороны Высшего совета народного хозяйства (СТО ВСНХ) РСФСР было образовано Особое техническое бюро по военным изобретениям специального назначения (Остехбюро). Руководителем Остехбюро был назначен талантливый изобретатель Владимир Иванович Бекаури. В становлении и развитии Остехбюро принимали участие крупнейшие специалисты в соответствующих областях науки и техники. Одним из самых активных был крупный учёный того времени в области электротехники и физики, профессор Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина Владимир Федорович Миткевич, впоследствии – академик.

Даже простое перечисление тематических направлений науки и техники, над которыми работало Остехбюро, заняло бы много страниц. С 1921 по 1929

г. в состав Остехбюро входили три основных научно-технических отдела, которые занимались разработкой морского, самолётного и радиотелемеханического вооружения для армии и флота. В 1930 г. в Остехбюро появились новые отделы, которые занимались разработкой механизмов, приспособлений и приборов управления кораблями, торпедостроением, минным и авиационным вооружением, радиосвязью и телемеханикой. Одновременно функционировали лаборатории телефугасов, сухопутной телемеханики, инженерной телемеханики, селекции, шифровальной аппаратуры, импульсной радиосвязи, самолётной автоматики и вооружения, радиолокационная. Проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию нового минно-торпедного оружия, трально-караванного вооружения и средств радиотелемеханического управления для ВМФ, вооружения для самолётов ВВС, специальной аппаратуры для войск связи и инженерных войск.

Остехбюро превратилось в крупную научно-исследовательскую и проектно-конструкторскую организацию со специализированными отделами, лабораториями и конструкторскими бюро, с хорошей производственной и экспериментальной базой, мастерскими, заводами, плавсредствами (кораблями и катерами), аэродромом и самолётами. Была у Остехбюро своя радиостанция.

В 1927 г. Правительственная комиссия принимает решение о переводе Остехбюро в Москву (кроме подразделений, занимающихся морской тематикой), и к 1935 г. перевод всех основных подразделений был завершён. В 1937 г. решением СТО ВСНХ Остехбюро было преобразовано в Остехуправление. На его базе был создан научно-исследовательский институт НИИ-20, который впоследствии назы-

вался также НИИ-244, Яузским радиотехническим институтом (ЯРТИ), Всесоюзным НИИ радиотехники, теперь называется ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники» (ОАО «ВНИИРТ») и входит в концерн «ПВО «Алмаз-Антей»». Этот научно-исследовательский институт продолжил славную историю Остехбюро. Успешные разработки московского филиала Остехбюро во многих областях радиотехники позволили ему накопить значительный научно-технический потенциал. Именно поэтому Постановлением правительства СССР от 2 апреля 1939 г. НИИ-20 поручено приступить к созданию первых отечественных радиолокационных станций (РЛС).

Предварительные поисковые и исследовательские работы в области радиолокации были начаты в Советском Союзе ещё в 1934 г., когда Управлением противовоздушной обороны был заключён договор с Ленинградским физико-техническим институтом (директор академик А.Ф. Иоффе) на проведение исследований по измерению электромагнитной энергии, отражённой от предметов различных форм и материалов. Этому же институту совместно с ОКБ Управления ПВО РККА (руководитель П.К. Ощепков) поручалось изготовить передатчик и приёмник для проведения опытов по фактическому обнаружению самолёта по отражённой от него волне. Все работы проводились по заранее составленному плану и рассматривались как дело большой государственной важности. При этом рассматривалось создание двух типов РЛС: непрерывного и импульсного излучения. Первое направление вылилось в появление РЛС «Ревень», первая партия которых под названием РУС-1 (сокращение от слов радиоуправляемый самолёт) была принята на вооружение в 1939 г. и во время финской войны прошла боевую проверку.

К 1939 г. в Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ) в виде макета импульсной РЛС «Редут», созданного под руководством Ю.Б.

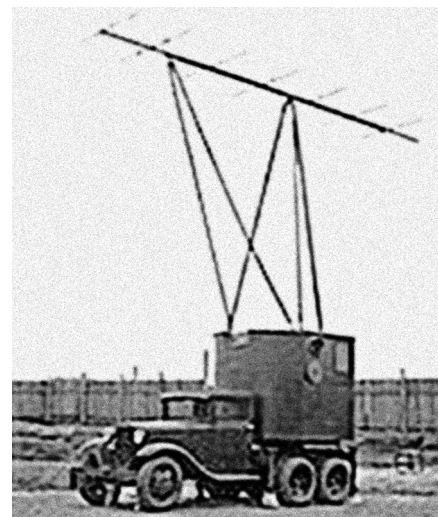
Кобзарева, появилась научная и экспериментальная база и по второму направлению. В развитии отечественной радиолокационной техники РЛС «Редут» по сравнению с РЛС «Ревень» была значительным шагом вперед, так как позволяла не только обнаруживать самолёты противника на больших расстояниях и практически на всех высотах, но и непрерывно определять их дальность, азимут и скорость полёта. Кроме того, при круговом синхронном вращении обеих антенн станция «Редут» обнаруживала группы и одиночные самолёты, находившиеся в воздухе на разных азимутах и дальностях, в пределах своей зоны действия и следила с перерывами по времени (один оборот антенны) за их перемещениями. Таким образом, с помощью нескольких таких РЛС командование ПВО могло наблюдать за динамикой воздушной обстановки в зоне радиусом до 100 км, определять силы воздушного противника и даже его намерения, подсчитывая, куда и сколько в данное время направляется самолётов. За научно-технический вклад в создание первой РЛС дальнего обнаружения Ю.Б. Кобзареву, П.А. Погорелко и Н.Я. Чернецову в 1941 г. была присуждена Сталинская премия.

В связи с низкой эффективностью выпуск РЛС РУС-1 («Ревень») был прекращён. Назрела настоятельная потребность в привлечении к разработке и изготовлению импульсных РЛС типа «Редут» научно-исследовательской организации, имеющей опыт работы в создании сложных радиотехнических систем. В качестве такой организации Правительством был выбран НИИ-20 Остехуправления. Всю работу в НИИ-20 предполагалось разбить на ряд этапов, в том числе провести дополнительные испытания макета РЛС «Редут» ЛФТИ. Однако управление связи РККА внесло предложение в Комитет обороны при СНК СССР о включении в план НИИ-20 срочного задания по разработке РЛС «Редут». Согласно этому заданию, НИИ-20 должен был разработать и изготовить, а затем представить на государственные испытания два образца РЛС «Редут» в январе 1940 г. Несмотря на огромные трудности, к концу 1939 г. был разработан проект станции, а к апрелю 1940 г. изготовлены два опытных образца РЛС «Редут». Это был двухантенный вариант РЛС с двумя синхронно вращающимися кабинами.

Совместные полигонные испытания прошли успешно. Приказом Наркома обороны от 26 июля 1940 г. под шифром РУС-2 станции были приняты на вооружение войск ПВО. Разработка, регулировка, испытания первых двух образцов РЛС «Редут» в НИИ-20 проводились под руководством и при непосредственном участии А.Б. Слепушкина. В соответствии с постановлением Комитета обороны при СНК СССР от 27 декабря 1939 г. НИИ-20 было получено изготовить и сдать Наркомату обороны 10 комплектов РЛС «Редут» (см. рисунок). К 10 июня 1941 г. все десять комплектов были сданы заказчику. В 1941 г. был создан опытный образец одноантенного варианта РЛС «Редут-41», который был испытан уже в боевых условиях.

Одновременно с изготовлением и поставкой на фронт передвижных РЛС РУС-2 военным ведомством было принято решение и дано задание НИИ-20 разработать стационарный вариант РУС-2 для войск ПВО. Опытные образцы таких станций под шифром «Пегматит» были разработаны в кратчайший срок, и к концу 1941 г. два комплекта РЛС под шифром РУС-2с («Пегматит-2») были приняты на вооружение. Десять комплектов опытных образцов и 50 комплектов серийных РЛС НИИ-20 изготовил в 1942 г., будучи в эвакуации в г. Барнауле. Это был трудовой подвиг коллектива НИИ-20. Сотрудники института работали недоедая, недосыпая, в тяжелых производственных и бытовых условиях. Следует подчеркнуть, что уже первые радиолокационные станции дальнего обнаружения РУС-2 защищали небо Москвы в 1941 г. и при обороне Ленинграда в октябре-ноябре 1942 станциями РУС-2 и РУС-2с было обнаружено 7900 самолетов противника, из которых 2020 уничтожено.

В 1940 г. НИИ-20 было выдано задание на разработку РЛС для кораблей ВМФ. В том же году РЛС «Редут-К» была изготовлена, и в апреле 1941 г. начался её монтаж на крейсере «Молотов». Следующей, более совершенной и с высокими техническими характеристиками, была разработана станция обнаружения и наведения П-3. В августе 1944 г. станция П-3 успешно прошла первые полигонные испытания, и в том же году институтом было изготовлено и передано в войска 14 комплектов РЛС П-3.



РЛС «Редут», 1941 г.

Разработка первого самолётного радиолокатора «Гнейс-2» проводилась НИИ-20 в эвакуации. Учитывая настоятельные требования истребительной авиации в самолетной радиолокационной аппаратуре, разработка РЛС «Гнейс-2» институтом была завершена в рекордно короткие сроки. Постановлением ГКО от 16 июня 1943 г. радиолокатор «Гнейс-2» был принят на вооружение. НИИ-20 изготовило для ВВС в 1943 г. 227 комплектов «Гнейс-2».

В 1943 г. перед НИИ-20 была поставлена задача в кратчайший срок разработать корабельную радиолокационную станцию обнаружения надводных и воздушных целей, пригодную для вооружения кораблей ВМФ всех классов. Образец корабельной РЛС «Гюйс-1» институтом был создан, и в апреле-мае 1944 г. в Баренцевом и Белом морях при волнении от 1 до 8 баллов на эсминце «Громкий» РЛС была испытана.

Трудно не восхищаться объёмом успешно выполненных работ Остехбюро – НИИ-20 за период с 1921 по 1945 г., а особенно за годы Великой Отечественной войны. Подведём итог: количество РЛС дальнего обнаружения типа «Редут», выпущенных до конца войны, составило: РУС-2 (двухантенная) – 12, РУС-2 (одноантенная, автомобильная) – 132, РУС-2с (одноантенная, разборная) – 463.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзарев Ю.Б. Создание отечественной радиолокации. М.: Наука, 2007.
2. ВНИИРТ. Страницы истории. К 85-летию со дня основания. М.: Оружие и технологии, 2006.
3. Корляков В.В. РУС-2 против Люфтваффе, М.: Военно-промышленный курьер. 2006. № 27.



# Электроника России: какой видят стратегию развития участники рынка?



Преодолевая системный кризис, электронный рынок России становится всё более привлекательным объектом для отечественных и зарубежных инвестиций. Технологические изменения в отрасли, поддержка Правительства РФ, стимулирование рынка и развитие информационных технологий способствуют развитию отрасли в целом и повышению интереса к ней со стороны как профессионалов отрасли, так и деловых кругов.

Как результат, отечественные предприятия электронной промышленности активно демонстрируют последние разработки и достижения, меняя свою маркетинговую политику под новые экономические условия. Об этом свидетельствует опрос, проведённый организаторами международных выставок «ЭкспоЭлектроника» и «ЭлектронТехЭкспо» среди ключевых игроков рынка электронной промышленности России.

Калмыков Андрей Владимирович, директор по продажам и сервисной поддержке дистрибьюторской фирмы,



которая является постоянным участником выставок, ответил на вопросы о современной ситуации на рынке электроники и планах компании на предстоящих выставках.

*Как вы оцениваете сложившуюся ситуацию на рынке электроники и электронных компонентов?*

Мы занимаемся технологическим оборудованием. На этом рынке общую динамику мы рассматриваем как позитивную, со значительным потенциалом роста. Насколько большим – это будет зависеть как от внешних факторов, так, и в гораздо большей степени, от продуманных действий властей по стимулированию высокотехнологических отраслей России.

*Как изменилась ваша маркетинговая политика в современных экономических условиях?*

Наша маркетинговая политика действительно претерпела изменения. Она стала более агрессивной, но в тоже время и более взвешенной. Мы рассматриваем текущий момент как весьма удачный для вывода на рынок России новых технологических решений, ранее малоизвестных, но имеющих хорошие перспективы в нашей стране.

*Какие цели и задачи вы ставите, участвуя на выставке ЭкспоЭлектроника/ЭлектронТехЭкспо 2010?*

Поддержание имиджа фирмы как активного игрока рынка электронной промышленности России. Поддержание существующих контактов и приобретение новых. Демонстрация наших новых эффективных технологий широкому кругу потенциальных потребителей.

*Какие инновационные разработки вы планируете представить на выставке ЭкспоЭлектроника/ЭлектронТехЭкспо 2010?*

Мы традиционно представляем на этой выставке интересные разработки наших партнёров, а также специализированное оборудование нашего собственного производства. И в этот раз мы покажем самые современные

технологии монтажа и подготовки компонентов, автоматической инспекции печатных плат, обработки изделий, дозирования, обработки кабелей.

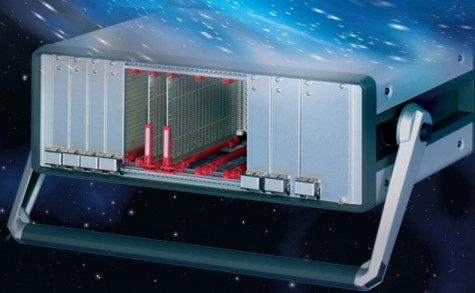
Поддерживая развитие российской электроники, руководство страны предпринимает серьезные шаги по переориентации отечественной экономики с сырьевых рельсов на научно-техническую и производственную стезю. Принятая «Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 г.» призвана ликвидировать критическое научно-технологическое отставание России в области ЭКБ микроэлектроники от развитых стран и удовлетворить потребности российской промышленности в современной отечественной электронной компонентной базе. Международные выставки «ЭкспоЭлектроника» и «ЭлектронТехЭкспо» активно решают эти задачи, объединяя лучший научный потенциал отрасли.

В этом году выставки пройдут с 20 по 22 апреля в Москве в ВК «КрокусЭкспо» и традиционно станут главным событием электронной отрасли, отражающим тенденции развития производства электроники в нашей стране. Более 400 компаний из 22 стран мира примут участие в работе форума. Кроме того, на выставках будут представлены национальные стенды Тайваня, Германии, Китая, Кореи, Сингапура, Гонконга, Финляндии, а также коллективная экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ – «Радиоэлектронный комплекс России».

В сложившейся экономической ситуации, помимо чисто практической пользы, участие в выставке станет своего рода имиджевой акцией, направленной на укрепление лидерских позиций на рынке, а кто станет его лидерами, покажет выставка «ЭкспоЭлектроника 2010».

# Полная линейка приборных корпусов

Технология EurocasPRO —  
ГАЛАКТИКА  
ВОЗМОЖНОСТЕЙ



## ***CompacPRO***

**Простой и удобный  
переносной корпус**

- Разнообразные конфигурации
- Идентичные передняя и задняя рамки
- Простота сборки – компоненты фиксируются с внешней стороны
- Высокая прочность и надежность
- Привлекательная цена

## ***PropacPRO***

**Прочный переносной корпус  
с системой электромагнитного  
экранирования**

- Разнообразные конфигурации
- Привлекательный дизайн
- Прочная литая передняя рамка
- Возможность электромагнитного экранирования
- Может использоваться для медицинского оборудования

## ***RatiopacPRO***

**Универсальный корпус  
для любых применений**

- Настольное, переносное или стоечное исполнение
- Произвольные размеры и разнообразные конфигурации
- Возможность электромагнитного экранирования
- Эффективные системы охлаждения

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ SCHROFF

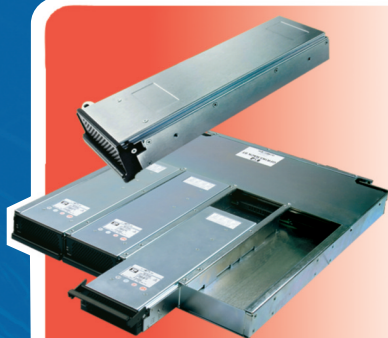
Реклама

**PROSOFT**<sup>®</sup>

**МОСКВА** Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**С.-ПЕТЕРБУРГ** Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**ЕКАТЕРИНБУРГ** Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru  
**САМАРА** Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**НОВОСИБИРСК** Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**КИЕВ** Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft.ru  
**УФА** Тел.: (347) 2925-216; 2925-217 • Факс: (347) 2925-218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЁМА,  
СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ  
И ПОВЫШЕНИЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ

С ПРИМЕНЕНИЕМ  
НОВЕЙШИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ



## GFR1K5

источники питания для установки в корпуса 1U

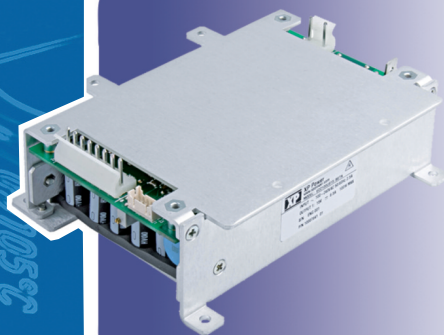
- Выходная мощность 1200-1500 Вт
- Выходные напряжения 12, 24, 48 и 56 В. Модель с выходным напряжением 56 В соответствует требованиям стандарта IEEE 802.3 af (Power-over-Ethernet)
- Удельная мощность до 1173 Вт/дм<sup>3</sup>
- Скорость вращения вентилятора регулируется в зависимости от нагрузки для уменьшения акустического шума
- В одном корпусе 1U устанавливается параллельно 4 модуля, при этом обеспечивается выходная мощность до 6 кВт
- Диапазон рабочих температур от -20 до +70°C
- Для широкого ряда промышленных и коммуникационных применений



## CSM250

высокоэффективные источники питания

- Пиковая мощность 300 Вт в течение 500 мс
- Конвекционный отвод тепла
- КПД до 95%
- Габариты (Ш×В×Г) 101,6×39,1×152,4 мм
- Диапазон рабочих температур от -10 до +70°C
- Для промышленных, телекоммуникационных и медицинских применений



## ECS100

источники питания с широким диапазоном рабочих температур

- Выходная мощность 100 Вт при конвекционном отводе тепла
- Диапазон рабочих температур от -40 до +75°C
- Диапазон входного напряжения 85-264 В переменного тока (частота 47-400 Гц)/ 120-370 В постоянного тока
- Выходные напряжения 12, 15, 24, 28 и 48 В
- Сигнал состояния выходного напряжения, дистанционное включение/выключение, внешняя обратная связь



## DLA

влагозащищённые источники питания для светодиодного освещения

- Входное напряжение 90-305 В переменного тока (частота сети 47-63 Гц)
- Выходные мощности 50, 75, 120, 150 Вт
- Модули со стабилизированным выходным напряжением и стабилизированным выходным током
- Коэффициент мощности до 0,96
- КПД до 93%
- Диапазон рабочих температур от -35 до +70°C
- Диапазон температур хранения от -40 до +80°C
- Степень защиты IP67
- Области применения: архитектурно-художественное освещение, ландшафтная подсветка, внутреннее и наружное освещение

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



**МОСКВА** Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**С.-ПЕТЕРБУРГ** Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**ЕКАТЕРИНБУРГ** Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru  
**САМАРА** Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**НОВОСИБИРСК** Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**КИЕВ** Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru  
**УФА** Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • E-mail: info@ufa.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**КАЗАНЬ** Тел.: (843) 291-7555 • Факс: (843) 570-4317 • E-mail: info@kzn.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**ОМСК** Тел.: (3812) 286-521 • E-mail: omsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**ЧЕЛЯБИНСК** Тел.: (351) 239-9360 • E-mail: chelyabinsk@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**КРАСНОДАР** Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • E-mail: krasnodar@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

## *Micrometals-Властелин колец*



### Магнитодиэлектрики MICROMETALS на складе ПРОСОФТ

**Применение сердечников Micrometals гарантирует:**

- снижение стоимости индуктивных компонентов
- снижение потерь на 30...50% по сравнению с ферритами
- повышение надёжности аппаратуры
- оптимизацию конструкции и уменьшение габаритов индуктивных компонентов

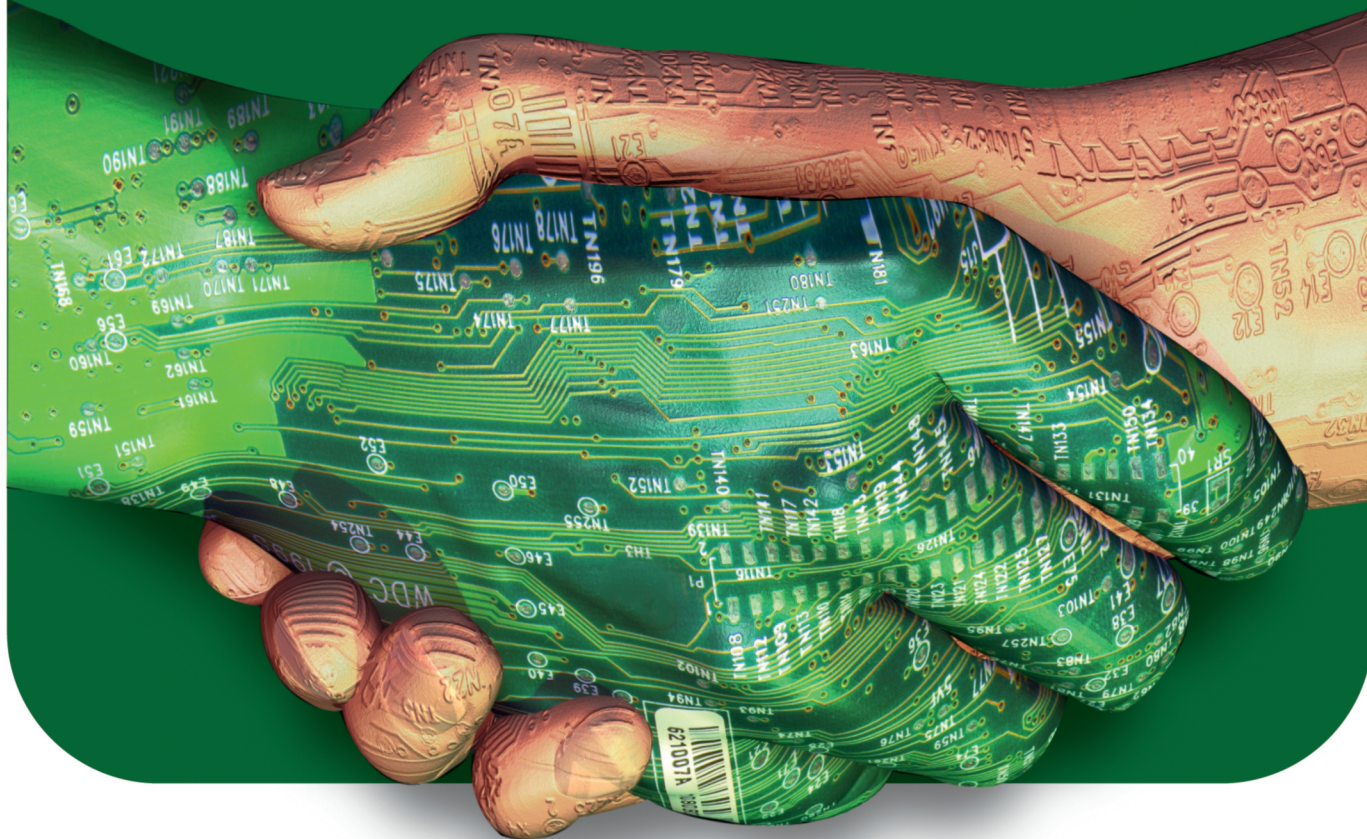
*Высокоэффективные  
магнитодиэлектрические сердечники  
Micrometals для силовой электроники  
и ВЧ-техники*



ufi  
Approved  
Event

# E·X·P·O ELECTRONICA

Время быть в игре!



13-я Международная выставка  
компонентов и комплектующих  
для электронной промышленности

**20-22 АПРЕЛЯ 2010**  
Москва, Крокус Экспо

[www.expoelectronica.ru](http://www.expoelectronica.ru)

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC



При содействии:



GIMA



Электронинформ



ITE CHINA

Тел.: +7 812 380 60 03  
+7 812 380 60 07  
+7 812 380 60 00

Факс: +7 812 680 60 01

E-mail: [electron@primexpo.ru](mailto:electron@primexpo.ru)

Совместно с:



electrontech