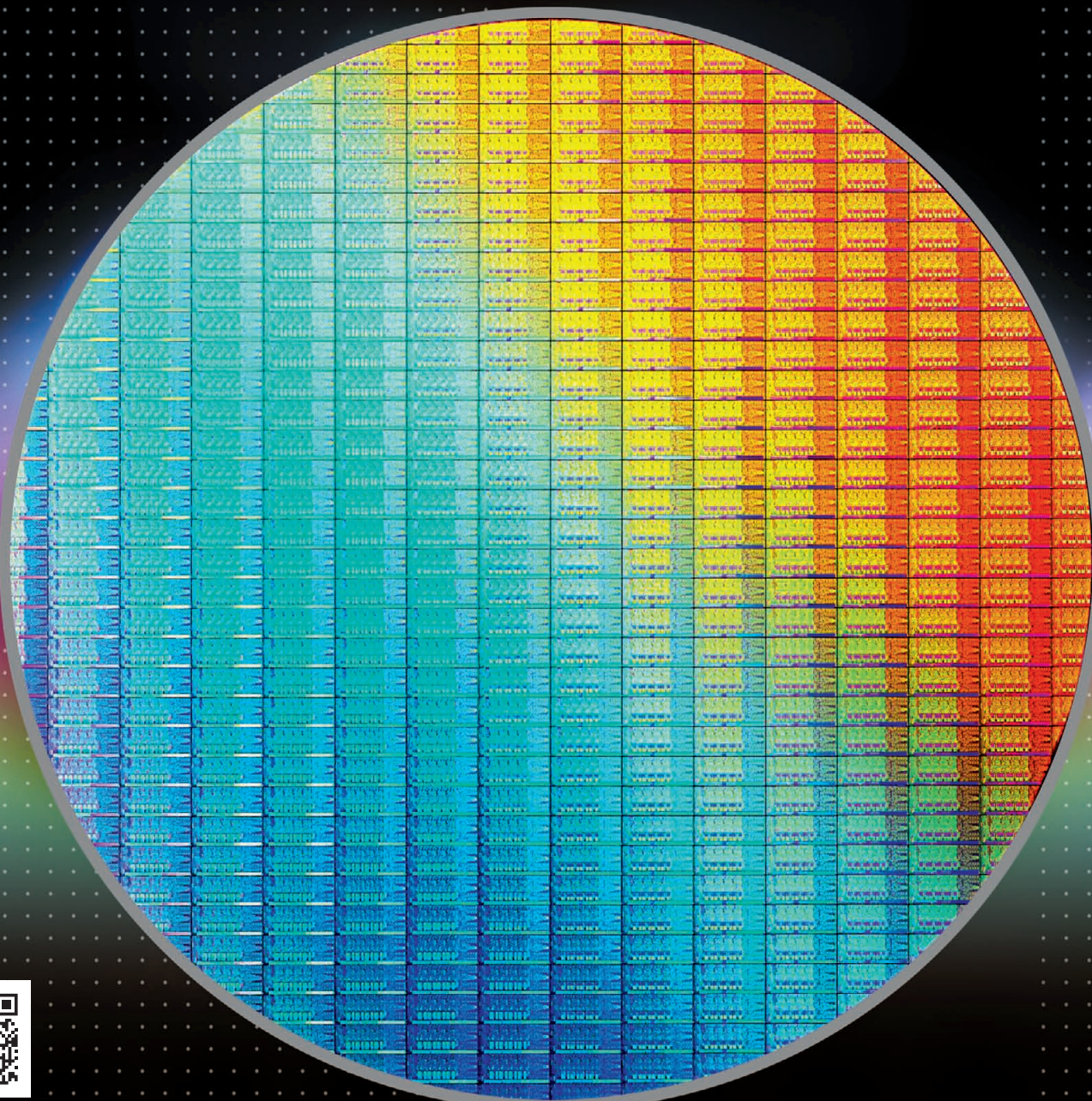


# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 9 2012

## В номере:

- ЖК-дисплеи компании Litemax
- Поколение процессоров Ivy Bridge
- Сильноточные проходные разъёмы и клеммы
- Многофункциональный встраиваемый контроллер
- Анализ целостности сигналов в среде Cadence Allegro  
и многое другое





**TESLA** ELECTRIC s.r.o.

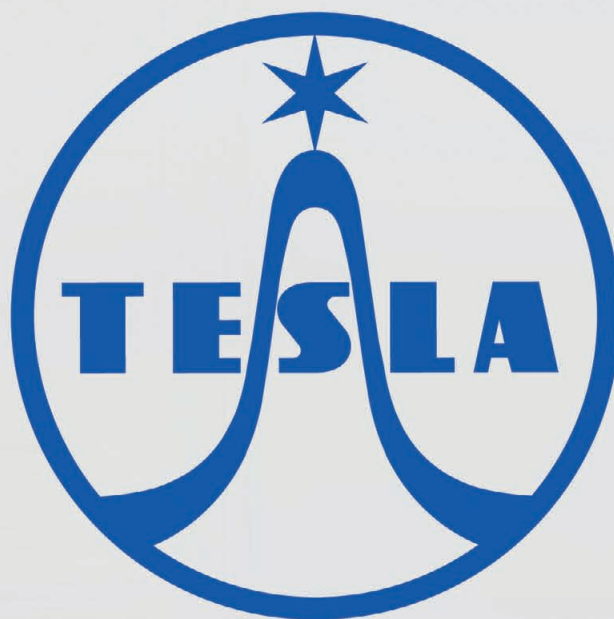
## Мощные низкопрофильные AC/DC преобразователи



13-16 ноября ждем Вас на выставке «Электроника»  
в Мюнхене, Зал В2, Стенд №446

Реклама

Возвращение легенды: источники  
вторичного электропитания Tesla  
выходят на российский рынок



— \* —

**TESLA**  
**ELECTRIC**

[www.teslaelectric-eu.com](http://www.teslaelectric-eu.com), [russia@teslaelectric-eu.com](mailto:russia@teslaelectric-eu.com)  
тел./факс +7 (499) 393-31-56, +7 (495) 510-64-11

Реклама

© СТА-ПРЕСС

**Главный редактор**  
Александр Майстренко

**Зам. главного редактора**  
Татьяна Крюк

**Редакционная коллегия**  
Александр Балакирев, Андрей Данилов,  
Виктор Жданкин, Сергей Сорокин,  
Рифат Хакимов

**Вёрстка**  
Олеся Фрейберг

**Обложка**  
Дмитрий Юсим

**Служба распространения**  
Ирина Лобанова (info@soel.ru)

**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: ООО ПО «Периодика»  
Адрес: 105005, Москва, Гарднеровский пер.,  
д. 3, стр. 4  
http://www.printshop13.ru

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.  
© СТА-ПРЕСС, 2012

# 9/2012 Contents

## MARKET

**News from the Russian Market** . . . . . 4

## MODERN TECHNOLOGIES

**VLSI Circuits with Programmable Architecture  
for Application-Specific Systems. Part 2** . . . . . 8

*Aleksandr Butov*

## ELEMENTS AND COMPONENTS

**Liquid-Crystal Displays from Litemax Co.** . . . . . 16

*Yurii Petropavlovskii*

**Ivy Bridge Processors: The Evolution of Embedded Platforms Goes On** . . . . . 22

*Anatolii Sysoev*

**High-Current Feedthrough Connectors and Terminals** . . . . . 30

*Andrei Ikrin*

## DEVICES AND SYSTEMS

**Multifunctional Embedded Controller. Part 1** . . . . . 32

*Aleksandr Eliseev*

**Chroma ATE Controller for Thermoelectric Coolers** . . . . . 40

*Aleksei Karepanov*

## PRACTICAL ELECTRONICS

**Superminiature Isolated DC/DC Converters with Stabilized Output  
and Ultralow Ripple** . . . . . 44

*Aleksei Kuz'minov*

## DESIGN AND SIMULATION

**Pretopological Analysis of Signal Integrity in the Cadence Allegro  
PCB SI Environment** . . . . . 52

*Anatolii Sergeev*

**Accounting for Dynamic Behavior in FET Device Models** . . . . . 58

*Graham Riley*

## THEORY

**Reserves of Classical Approximations of Infinite Impulse Response  
Digital Filters** . . . . . 62

*Aleksandr Mingazin*

## EVENTS

**RTSoft Verifies an Advanced Generation of COM Express Proprietary Carrier  
Boards Intended for the Latest Intel Core and Intel Atom D/N2xxx  
Third-Generation Embedded Processors** . . . . . 72

**The Day of Embedded Microsoft Technologies in Novosibirsk** . . . . . 73

**Green Signal is Opened to Advanced Development for Urban Transport!** . . . . . 73

**Exhibition That Is Waited For** . . . . . 74

**Subject Index** . . . . . 76

# Содержание 9/2012

## РЫНОК

- 4 **Новости российского рынка**

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 8 **СБИС с программируемой архитектурой в системах специального назначения (часть 2)**

*Александр Буттов*

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 16 **ЖК-дисплеи компании Litemax**  
*Юрий Петропавловский*
- 22 **Поколение процессоров Ivy Bridge: эволюция встраиваемых платформ продолжается**  
*Анатолий Сысоев*
- 30 **Сильноточные проходные разъёмы и клеммы**  
*Андрей Икрин*

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 32 **Многофункциональный встраиваемый контроллер (часть 1)**  
*Александр Елисеев*
- 40 **Контроллер термоэлектрического охладителя компании Chroma ATE**  
*Алексей Карепанов*

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

- 44 **Сверхминиатюрные изолированные DC/DC-преобразователи со стабилизированным выходом и ультранизким уровнем пульсаций**  
*Алексей Кузьминов*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 52 **Предтопологический анализ целостности сигналов в среде Cadence Allegro PCB SI**  
*Анатолий Сергеев*
- 58 **Учёт динамического поведения моделей полевых транзисторов**  
*Грэм Райли*

## ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- 62 **Резервы классических аппроксимаций цифровых БИХ-фильтров**  
*Александр Мингазин*

## СОБЫТИЯ

- 72 **«РТСофт» верифицирует современное поколение плат-носителей COM Express собственной разработки для новейших встраиваемых процессоров Intel Core 3-го поколения и Intel Atom D/N2xxx**
- 73 **День встраиваемых технологий Microsoft в Новосибирске!**
- 73 **Открыт «Зелёный свет» перспективным разработкам для городского транспорта!**
- 74 **Выставка, которую ждут**
- 76 **СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

## ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Число бесплатных подписчиков журнала «Современная электроника» неуклонно растёт, соответственно растёт и число рассылаемых по почте журналов. Безусловно, нам приятно осознавать рост читательского интереса к нашему журналу. Но вместе с тем, всё больше подписчиков сообщают нам о фактах пропажи журнала на почте или из почтового ящика.



Редакция гарантирует только отправку журнала бесплатному подписчику, но не может гарантировать его доставку.

Риск пропажи журнала можно уменьшить. Во-первых, можно обратиться в отдел доставки вашего почтового отделения и оформить получение журнала до востребования. Во-вторых, можно оформить платную подписку на журнал, и в этом случае почта будет нести ответственность за его доставку.

## ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА

### Преимущества:

- подписаться может любой желающий, тогда как бесплатная подписка оформляется только для специалистов в области электроники. Поступающие в редакцию подписные анкеты тщательно обрабатываются, и часть их отсеивается;
- журнал будет гарантированно доставлен, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- эту подписку могут оформить иностранные граждане.

### «Роспечать»

Оформить платную подписку можно в почтовом отделении через агентство «Роспечать». Тел.: (495) 921-2550. Факс: (495) 785-1470

Подписаться можно как на 6 месяцев, так и на год. Подписные индексы по каталогу агентства «Роспечать»: на полугодие – **46459**, на год – **36280**.

Кроме того, можно оформить платную подписку через альтернативные подписные агентства.

### «Агентство «ГАЛ»»

Тел.: (495) 981-0324, (800) 555-4748  
<http://www.setbook.ru>

### «Интер-Почта-2003»

Тел./факс: (495) 500-0060; 788-0060  
[interpochta@interpochta.ru](mailto:interpochta@interpochta.ru)  
<http://www.interpochta.ru>

### «Урал-Пресс»

Тел.: (495) 961-2362  
<http://www.ural-press.ru>

### Читатели из дальнего зарубежья

могут оформить подписку через агентство

### «МК-Периодика»

Тел.: +7 (495) 672-7012  
Факс: +7 (495) 306-3757  
[info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

## Новости российского рынка

### Элементы и компоненты

#### Универсальный корпус minipac для стандартных и нестандартных печатных плат

Несмотря на то, что в соответствии с нормами IEC 60297-3-10x/IEEE 1101 рекомендуется использовать стандартные корпуса, для размещения нестандартной электроники всё чаще требуются малые. По этой причине компания Schroff разработала новую серию удобных малогабаритных корпусов minipac, которые, среди прочего, подходят для установки нестандартных печатных плат для различных приложений в промышленности, железнодорожной и контрольно-измерительной технике, технике в сфере безопасности, медицины, энергетики, а также в коммуникационном и сетевом оборудовании.

В частности, в сфере встраиваемых систем с их помощью можно создавать так называемые решения COM («компьютеры на модулях»). Корпус состоит из алюминиевого профиля, закрытого с обоих торцов крышками. В стандартном исполнении предлагается два варианта профиля (прямоугольный и трапециевидный) и различные крышки (плоские или с загибом для настенного монтажа). Дополнительно для корпуса в любом исполнении можно приобрести переходник из алюминия для монтажа на DIN-рейку. Поверхность алюминиевых профилей анодирована (чёрный или естественный цвет). По запросу возможно нанесение порошкового лакокрасочного покрытия цветов RAL.

#### Дополнительные услуги

При заказе малых корпусов можно воспользоваться различными услугами. Компания Schroff предлагает не только поставку корпусов со склада, но и механическую обработку крышек, печать обозначений на выемках, нанесение фирменного логотипа или лакокрасочного покрытия на крышки или весь корпус. Печать на корпусах при заказе даже небольшой партии не потребует значительных затрат благодаря использованию современных цифровых печатных машин. Отсутствуют расходы, например, на плёнку или трафарет. Даже сложные рисунки или градиентные изображения наносятся быстро и легко.

Кроме того, возможно изготовление алюминиевых корпусов с другими формами профиля. Для этого нужно отправить в компанию Schroff запрос на нестандартный алюминиевый профиль.

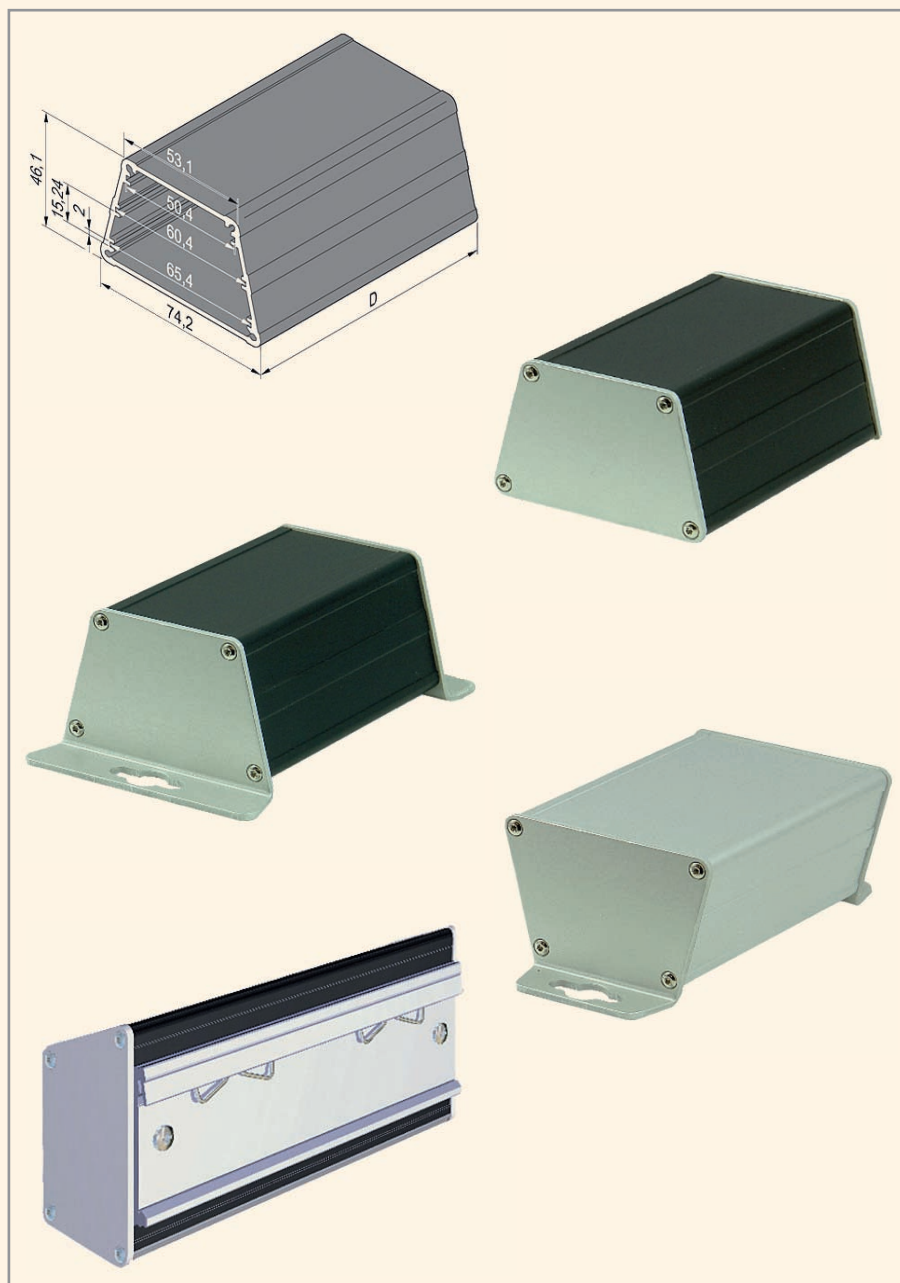
В корпус из прямоугольного профиля (исполнение 1) можно установить до четырёх стандартных плат евроформата (160 × 100 мм) с шагом 2 НР или до восьми печатных плат размером 160 × 60 мм.

Малогабаритные корпуса из трапециевидного профиля (исполнение 2) подходят для установки печатных плат разной ширины (50, 60 и 65 мм) на расстоянии 3 НР. Оба варианта корпусов демонстрируют только часть возможностей, которые можно расширить за счёт разнообразных специальных исполнений или модификаций стандартных изделий.

#### Лёгкий и удобный монтаж

Корпуса minipac можно устанавливать на шасси или монтажную панель, крепить на стену или DIN-рейку, а также использовать как настольное решение. Особое внимание производитель уделил удобству монтажа. Монтажные отверстия на кронштейнах имеют форму замочной скважины, что ещё более упрощает процедуру. Кроме того, торцевые крышки доступны в различных исполнениях для разных видов установки или способов крепления. Новые универсальные малые корпуса со степенью защиты до IP 40 обладают высокой устойчивостью и обеспечивают оптимальный теплоотвод за счёт используемого материала (алюминиевая поверхность). По запросу степень защиты можно повысить. Дополнительная информация о новом профильном корпусе minipac доступна на сайте [www.schroff.ru/minipac](http://www.schroff.ru/minipac).

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



## Новости российского рынка

### Расширение линейки IGBT 600-В транзисторов для бытового электропривода

Две новые модели IGBT-транзисторов IRGR4045DPbF и IRGS4045DPbF – это сверхбыстрые транзисторы с повышенным КПД для приводов малой мощности, используемых в бытовой аппаратуре и промышленной технике, включая стиральные машины, холодильники и холодильные установки.

Транзисторы IRGR4045DPbF и IRGS4045DPbF выпускаются по технологии Field-Stop Trench, которая позволяет значительно сократить потери на переключение и проводимость для повышения плотности мощности и эффективной работы устройств на высоких частотах. Транзисторы имеют встроенный диод и выпускаются в корпусах DPAK и D2PAK, их номинальный ток составляет 6 А, а минимальный интервал периода короткого замыкания – 5 мкс.

Низкое напряжение насыщения коллектор-эмиттер ( $V_{CE(on)}$ ) позволяет уменьшить мощность рассеяния и повысить плотность мощности, а положительный температурный коэффициент обеспечивает удобство параллельного подключения приборов. Транзисторы IRGR4045DPbF и IRGS4045DPbF работают в широком диапазоне частот переключения при оптимизированной частоте 20 кГц. Также транзисторы имеют квадратную область безопасной работы и низкий уровень ЭМП для повышения надёжности устройств.

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

Тел.: (495) 737-9279

### Новый малоформатный 0,95" графический OLED-дисплей от Raystar Optronics

Компания Raystar Optronics выпустила новую модель 0,95" графического дисплея OLED REX009664A. Дисплей имеет встроенную микросхему драйвера SSD1305. Кристалл драйвера соединяется с выводом на стеклянной подложке дисплея по тех-



нологии COG (Chip On Glass) – кристалл монтируется на стеклянной подложке дисплея. Контроллер обеспечивает управление контрастом, содержит дисплейное ОЗУ и генератор, что позволяет сократить число внешних компонентов и потребляемую мощность. Он имеет 256-ступенчатое управление яркостью и отдельное питание для логических схем управления вводом/выводом.

Основные параметры REX009664A:

- число пикселей: 96 × 96;
- габариты: 24,9 × 22,95 × 1,75 мм;
- рабочая площадь экрана: 19,946 × 15,424 мм;
- шаг пиксела: 0,208 × 0,21 мм;
- размер пиксела: 0,186 × 0,188 мм;
- напряжение питания: 3 В;
- интерфейс:
  - параллельный 6800 или 8080 (опция),
  - последовательный SPI,
  - I<sup>2</sup>C;
- доступны модели с жёлтым цветом свечения;
- режим мультиплексирования 1/32;
- диапазон рабочих температур от –40 до +80°C.

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

Тел.: (495) 234-0636

### XP Power расширила серию SHP источников питания AC/DC 350-Вт моделями

Компания XP Power объявила о начале выпуска ряда SHP350 источников питания AC/DC, которые являются последним дополнением в серии SHP. Источники питания с выходной мощностью до 420 Вт отличаются прочной конструкцией, что соответствует требованиям к изделиям промышленного электроснабжения.

Источники питания SHP350 с габаритами корпуса 177,8 × 91,44 × 53,34 мм, включая вентилятор с регулируемой в зависимости от нагрузки скоростью, характеризуются высоким значением удельной мощности 6,6 Вт/дюйм<sup>3</sup> (примерно



403 Вт/дюйм<sup>3</sup>). Все модели снабжены удобными монтажными клеммами с винтовыми креплениями для подключения входных и выходных цепей.

При значении номинальной выходной мощности 350 Вт модули способны выдавать в нагрузку пиковую мощность 420 Вт в течение 10 с (модель с выходным напряжением 24 В) при входном напряжении более 90 В. Источники питания SHP350 снабжены выходным каналом 5 В/0,2 А для обеспечения режима ожидания, а также сервисными функциями: вход дистанционного включения/выключения с гальванического развязкой, возможность подключения внешней обратной связи, однопроводная схема обеспечения равномерного распределения мощности при параллельной работе модулей питания, сигнал состояния входного напряжения AC/DC OK/Power Fail. Модули обладают также защитой от перегрева, перенапряжения, по току и от короткого замыкания.

Ряд SHP350 включает шесть моделей с выходными напряжениями от 12 до 48 В с возможностью регулировки выходного напряжения в диапазоне ±10%. Типовое значение КПД составляет 85%. Диапазон рабочих температур от –20 до +70°C с понижением выходной мощности при температурах выше +50°C.

Уровень кондуктивных помех соответствует классу В стандарта EN55022, уровень помех излучения соответствует классу А. Блоки соответствуют требованиям международных стандартов безопасности UL60950-1, EN60950-1, ГОСТ РМЭК 60950-2002.

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

Тел.: (495) 234-0636

### Упрочнённый 12,1" ЖК-дисплей высокой яркости с сенсорным экраном

Фирма Planar Systems начала выпуск упрочнённого ЖК-дисплея LX1251TI с сен-



## Новости российского рынка

сорным экраном, разработанного для применения в условиях воздействия факторов внешней среды. В дисплее применяется светодиодная подсветка, которая обеспечивает высокую яркость, низкое потребление энергии, а также низкий профиль конструкции и длительное время эксплуатации. Алюминиевый корпус дисплея имеет степень защиты IP65 и надёжно защищает электронные схемы от воздействия водяных струй и проникновение пыли. Дисплей способен функционировать в широком диапазоне температур от  $-20$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  без применения вентиляции, устойчив к воздействию вибрации и механических ударов. Специально обработанная усиленная стеклянная поверхность экрана и антибликовая поверхность сенсорного экрана обеспечивают превосходные оптические характеристики в жёстких условиях внешней среды. Система управления светодиодной подсветкой обеспечивает регулировку яркости в широком диапазоне.

Основные характеристики:

- размер диагонали 12,1 дюйма (активная площадь экрана  $246 \times 184,5$  мм);
- разрешение  $1024 \times 768$  пикселей (формат изображения XGA);
- яркость  $650$  кд/м<sup>2</sup>;
- контрастность  $600 : 1$ ;
- время отклика  $25$  мс (тип.);
- угол обзора  $140^{\circ}$  (горизонтальная плоскость)/ $120^{\circ}$  (вертикальная плоскость);
- диапазон регулировки яркости  $>130 : 1$ ;
- сенсорный инфракрасный экран;
- соединители для подключения внешних цепей: VGA, USB, питание;
- напряжение питания  $8 \dots 32$  В;
- диапазон рабочих температур  $-20 \dots +60^{\circ}\text{C}$ ;
- потребляемая мощность менее  $8$  Вт;
- вес  $2,3$  кг.

[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)  
Тел.: (495) 234-0636

### Компания Crane Aerospace & Electronics улучшила электрические параметры радиационно-стойких DC/DC-преобразователей серии SMHF

Компания Crane Aerospace & Electronics, поставляющая продукцию под торговой маркой Interpoint™, провела модернизацию популярных DC/DC-преобразователей серии SMHF.



В результате проведённой работы расширен диапазон входного напряжения до  $45$  В. Значительно снижены пульсации выходного напряжения: типичное значение пульсаций для одноканальных моделей с выходным напряжением  $5$  В составляет  $5$  мВ (от пика до пика); для двухканальных моделей SMHF2805D –  $30$  мВ (от пика до пика). Улучшены также динамические характеристики, например, при импульсном изменении входного напряжения от  $16$  до  $45$  В возврат выходного напряжения к номинальному значению составляет  $200$  мкс.

Предлагаются модели со значениями поглощённой дозы  $30$  и  $100$  крад (Si), гарантированное отсутствие одиночных эффектов от воздействия протонов с ЛПЭ (линейные потери энергии) более  $40$  МэВ см<sup>2</sup>/мг.

Радиационно-стойкие модули серии SMHF могут применяться в аппаратуре низкоорбитальных и геосинхронных космических аппаратов, в космических зондах для исследований дальнего космоса.

[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)  
Тел.: (495) 234-0636

### Источники питания Inventronics со стабилизацией выходного тока и напряжения

Компания Inventronics представляет широкий спектр источников питания для систем светодиодного освещения мощностью от  $36$  до  $300$  Вт.



Серия EUC – это источники питания со стабилизированным выходным током от  $350$  мА до  $8,33$  А. Серия EUV – это источники питания со стабилизированным выходным напряжением от  $12$  до  $105$  В.

Все источники питания серий EUC и EUV рассчитаны на работу в широком диапазоне входных напряжений от  $90$  до  $305$  В, имеют степень защиты IP67 и диапазон рабочих температур  $-40$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ .

Компания Inventronics более  $10$  лет специализируется на разработке и производстве источников питания постоянного тока и напряжения. Благодаря современной схемотехнике и правильной компоновке, источники питания серий EUC и EUV имеют высокие КПД (до  $94\%$ ) и коэффициент мощности (до  $99\%$ ), отличаются высокой надёжностью и долговечностью.

Вся продукция соответствует требованиям безопасности UL/VDE.

Подробные технические характеристики источников питания можно посмотреть на сайте.

[www.xlight.ru](http://www.xlight.ru)  
Тел.: (495) 232-1652

## СОБЫТИЯ

### Семинар компании PCB technology

10 октября 2012 г. состоялся очередной семинар компании PCB technology для разработчиков печатных плат. Тема семинара: «Проектирование многослойных печатных плат на СВЧ-материалах».

В рамках семинара были освещены следующие темы:

- обзор новых технологий в печатных платах;
- особенности подготовки проектов;
- диэлектрики СВЧ, структуры МПП. Выбор СВЧ-материалов;

- структуры многослойных плат;
- расчёт и контроль импеданса. Импеданс проводников. Типы линий передачи на плате;
- правила согласования, потери и искажения;
- замена материалов ФАФ и ФЛАН;
- поддержка СВЧ-проектирования в САПР;
- техника и стратегия трассировки ВЧ-плат;
- шины питания. Блокировочные конденсаторы;
- программа для расчёта структуры слоёв и импеданса;

- программа для расчёта системы питания многослойной ВЧ-платы;
- встроенные RF-компоненты;
- примеры встроенных конденсаторов, индуктивностей, фильтров.

Семинар посетили более  $90$  инженеров-конструкторов, представляющих около  $20$  предприятий.

Следующий семинар пройдёт в феврале 2013 г. Тема семинара: «Грамотное проектирование гибких и гибко-жёстких печатных плат».

[www.pcbtech.ru](http://www.pcbtech.ru)  
Тел.: 8 (499) 558-02-54

## Новости российского рынка

### Инструменты и оборудование

#### Аттестация чистых зон

В микроэлектронной промышленности проблема чистоты воздуха при изготовлении высокотехнологичных продуктов решается с помощью комплексов чистых помещений. Их применение обеспечивает необходимый класс чистоты в рабочей зоне, минимизируя производственный брак.

Одним из эффективных способов снижения затрат при создании комплексов чистых помещений является зонирование чистого помещения на локальные участки, которые могут отличаться друг от друга как классом чистоты воздушной среды, так и функциональным назначением (только защита продукта либо защита как продукта, так и окружающей среды). Таким образом, внутри чистого помещения низкого класса чистоты над критическими местами технологического процесса могут быть созданы чистые зоны с более высоким классом чистоты, чем помещение, в котором они размещены.

Чистая зона – это локальная пространственная конструкция, построенная и используемая таким образом, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри зоны. Конструктивно чистая зона выполняется как самостоятельное изделие по принципу «помещение в помещении».

Сфера применения чистых зон очень широка:

- электроника;
- производство полупроводников;
- микромеханика;
- точное приборостроение и механика;
- производство оптических элементов высокого класса;
- космическая и авиационная промышленность;



- производство прецизионных изделий;
- био- и нанотехнологии;
- фармацевтическое производство;
- производство медицинского оборудования;
- производство парфюмерии и косметики;
- производство продуктов питания, и многое другое.

Выделяют два типа чистых зон: мобильные и стационарные. Мобильные чистые зоны изготовлены таким образом, чтобы можно было перемещать их внутри помещения. Как правило, это зоны 5(6) классов чистоты. Конструкция стационарных чистых зон жёстко крепится к полу, стенам, потолку или другим силовым конструкциям помещения.

Стационарная чистая зона может быть надстроена или интегрирована в различное специализированное технологическое оборудование.



Индивидуальным проектированием и производством комплексов чистых помещений и чистых зон уже почти 15 лет занимается ЗАО «Ламинарные системы». Все производимые компанией комплексы после монтажа у заказчика проходят аттестацию по ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007.

Аттестация чистых зон проводится совместно с представителем заказчика специалистами ЗАО «Ламинарные системы», которые прошли специальное обучение и имеют соответствующую квалификацию, а также обладают опытом работы по аттестации комплексов чистых помещений и чистых зон на предприятиях электронной, оптико-механической и авиакосмической промышленности.



Целью аттестации является:

- проверка работоспособности и правильного функционирования чистой зоны в соответствии с описаниями эксплуатационных документов;
- проверка целостности установленных в чистой зоне HEPA-фильтров и мест их герметизации;
- проверка производительности чистой зоны по чистому воздуху и кратности воздухообмена;
- проверка заявленного класса чистоты в рабочей зоне изделия по ГОСТ ИСО 14644-1-2002.

Для проведения аттестационных работ специалисты ЗАО «Ламинарные системы» оснащены всеми необходимыми измерительными приборами и оборудованием. По результатам испытаний и всех проверок составляются отчёты и квалификационные протоколы проведения приёмочных испытаний. Эти документы включаются заказчиком в отчётную документацию предприятия по аттестации производства, а также могут быть использованы для разработки корректирующих мероприятий, если характеристики технологического оборудования, установленного в чистой зоне, не соответствуют требованиям по чистоте.

Завершающим этапом данных работ является обучение и консультации обслуживающего персонала заказчика по вопросам эксплуатации и правил работы в чистой зоне.

**ЗАО «Ламинарные системы»**  
[www.lamsys.ru](http://www.lamsys.ru)  
[cleanroom@lamsys.ru](mailto:cleanroom@lamsys.ru)  
 Тел.: 8 (3513) 544-744  
 (многоканальный)

# СБИС с программируемой архитектурой в системах специального назначения

## Часть 2

**Александр Бутов (Москва)**

Статья посвящена анализу особенностей применения СБИС с программируемой архитектурой в специализированных системах. В статье рассмотрены существующие архитектуры программируемых СБИС, таких как ПЛИС, программируемые системы на кристалле (ПСНК), структурированные БМК (СБМК). Проведён анализ подходов при разработке современной, сложной аппаратуры, требующей применения оригинальных СБИС. В статье показано, что реализация логики на базе функциональных генераторов (LUT) позволяет существенно упростить и удешевить проектирование схем, изготавливаемых по технологиям с нанометровыми проектными нормами. Предложена методология, позволяющая организовать в России выпуск высокономенклатурных, мелкосерийных СБИС с приёмкой «5».

### СБМК фирмы eASIC

Фирма eASIC последовательно отстаивает и реализует методологию проектирования специализированных схем на базе СБМК: она разработала несколько семейств СБМК с проектными нормами 40...90 нм, выведя эти работы на новый уровень [9].

Стандартный логический элемент, повторяющийся в наборе логических элементов нижнего уровня компании eASIC, называется eCell. На рис. 8 показана схема этого базового элемента. Ячейка eCell эквивалентна 12–15 логическим вентилям и занимает на кристалле площадь около 200 мкм<sup>2</sup>

(для процесса 130 нм). Для сравнения, наименьший вентиль NAND2 занимает 5 мкм<sup>2</sup>. При формировании топологии элемента eCell используются три нижних слоя металла.

Второе преимущество заключается в том, что крупные ячейки допускают сегментированную трассировку. На рис. 9 показана топология типичной ячейки eCell.

Массив квадратных логических ячеек со стороной 14 мкм подразумевает, что минимальное расстояние до соседней ячейки также 14 мкм. Следовательно, межсоединения поверх ячеек могут быть образованы фиксированными сегментами

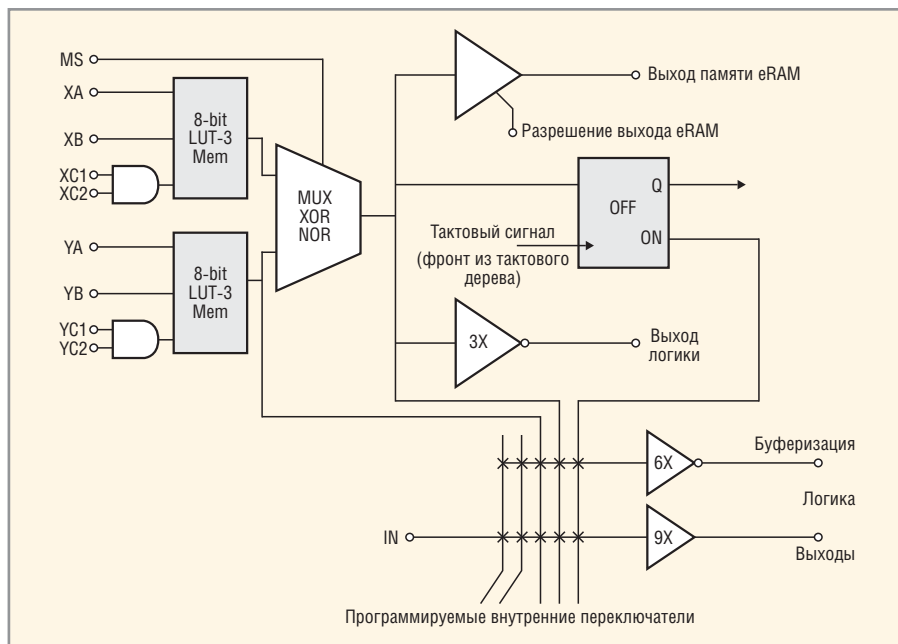


Рис. 8. Схема базовой ячейки eCell

длиной 14 мкм, прошитыми межслойными переходами, как показано на рис. 10.

Соединения из сегментированного стандартного металла, содержащие четыре металлических слоя, показаны на рис. 11.

Эти межсоединения дополняют описанный выше набор логических элементов нижнего уровня, с тем чтобы завершить формирование стандартного металла заказным слоем перехода между двумя металлами. В случае использования LUT, построенных на произвольной памяти (RAM), требуется всего лишь один заказной слой межслойного перехода – via 6 (рис. 12).

В 2006 г. компания eASIC выпустила на рынок семейство СБМК Nextreme, изготовленное по технологии 90 нм. В этих СБМК массивы логических ячеек eCell скомбинированы с единственным заказным слоем межслойного перехода. Эта технология позволяет проектировать и производить кристаллы как для быстрого прототипирования, так и для массовой продукции.

В отличие от подхода 20-летней давности (FPGA), использующего программируемую трассировку соединений, СБМК Nextreme по стоимости кристалла и потребляемой мощности приближаются к заказным схемам на стандартных ячейках.

Другим уникальным преимуществом Nextreme является использование лишь одного заказного слоя – межслойного перехода via 6. Малая площадь геометрических фигур в этом слое позволяет формировать его непосредственно электронным лучом, без использования фотолитографии и фотошаблона.

СБМК Nextreme предоставляет разработчику возможность использовать заранее спроектированные сложные IP-блоки, такие как стандартные процессоры ARM926EJ и Tensilica Diamond.

После того как проектирование СБИС закончено, прототипы СБМК Nextreme могут быть поставлены заказчику в течение нескольких недель (вместо месяцев при обычном проектировании на стандартных ячейках). СБМК для прототипирования и для массового произ-

Самый совершенный инструмент  
для проектирования электроники

**Altium**  
*Designer*

теперь дешевле  
на **20%\***

Реклама

\*Предложение действительно до 31 декабря 2012 года

**Altium**<sup>™</sup>

Получить подробную информацию вы можете на сайте  
[www.nanocad.ru](http://www.nanocad.ru), отправив запрос по адресу [altium@nanocad.ru](mailto:altium@nanocad.ru)  
или по тел.: (495) 645-86-26

**NANOCAD**

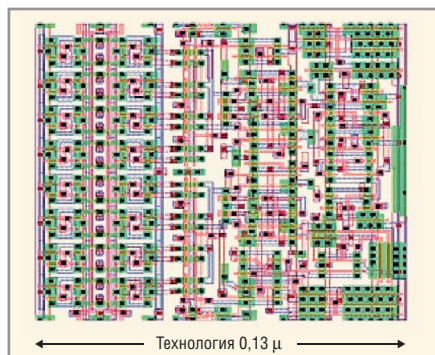


Рис. 9. Топология типичной ячейки eCell

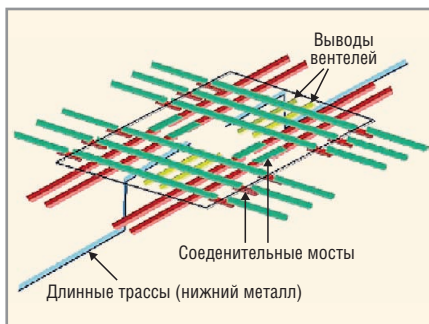


Рис. 10. Формирование межсоединений в проекте

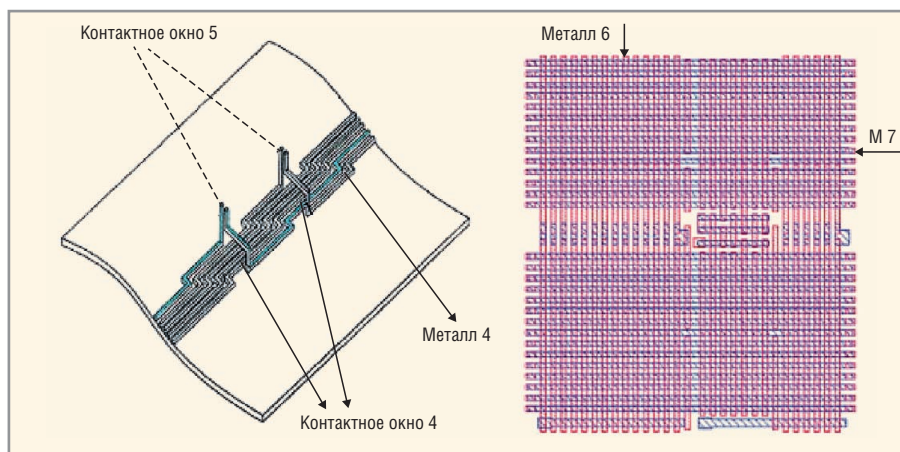


Рис. 11. Соединения, содержащие четыре металлических слоя

водства являются идентичными, что позволяет избежать сложного и дорогого процесса перевода проекта с FPGA в СБИС на стандартных ячейках.

Имеются две конфигурации СБМК Nextreme.

**Nextreme SL.** В данном варианте (см. рис. 13) конфигурация LUT осуществляется загрузкой битового потока в статическую конфигурационную память. Данная методология является идеальной для быстрого прототипирования и отладки проекта. Ещё одной особенностью СБМК Nextreme, вытекающей из использования всего лишь одного заказного межслойного перехода, является низкая потребляемая мощность, как статическая, так и динамическая.

В сравнении с аналогичной по функциональности FPGA, СБМК Nextreme потребляет на 20...80% мощности меньше. Цена и площадь на кремнии также существенно ниже.

**Nextreme VL.** В данном варианте (см. рис. 14) конфигурация LUT осуществляется жёстко, с помощью слоя межслойного перехода. Этот способ конфигурирования предназначен для производства кристаллов достаточно большими тиражами. На рис. 15 показано сравнение площади кристалла для FPGA и аналогичной СБМК Nextreme.

Межсоединения в обоих вариантах СБМК Nextreme могут быть реализованы быстро и недорого с использованием бесшаблонного литографического подхода:



Рис. 12. Заказной слой межслойного перехода

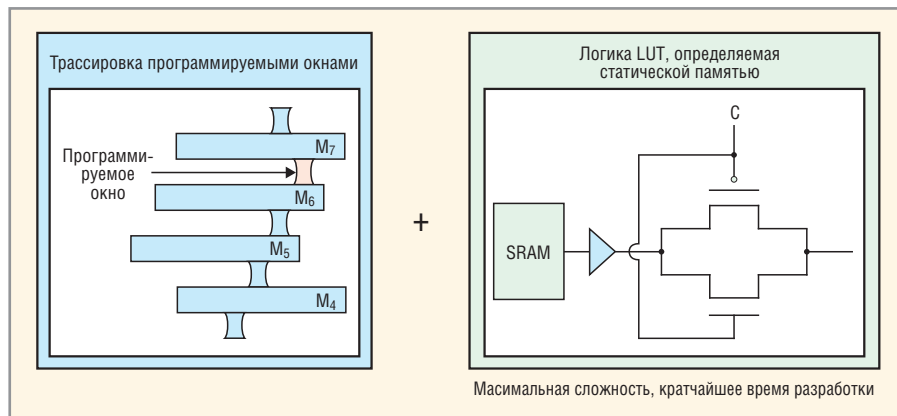


Рис. 13. Методология конфигурирования СБМК Nextreme SL

непосредственного рисования электронным лучом (Direct-write-e-Beam).

Использование электронно-лучевой технологии позволяет разделять кремниевые пластины между несколькими заказчиками или несколькими проектами путём объединения различных СБИС на одной пластине (рис. 16). В таблице 1 даны основные характеристики семейства СБМК Nextreme.

В 2008 г. компания eASIC выпустила на рынок новое семейство СБМК Nextreme-2, выполненное по технологии 45 нм. Во многом это семейство аналогично семейству Nextreme: крупные логические блоки, основанные на LUT, единственный заказной слой межслойного перехода, и т.д. Кристаллы Nextreme-2 обладают низкими ценой и потребляемой мощностью, высоким быстродействием. Таблица 2 содержит описание основных свойств кристаллов семейства Nextreme-2.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБМК eASIC

Для проектирования зашивок на своих СБМК компания eASIC разработала специализированную САПР eTools, реализующую маршрут проектирования, характерный для FPGA [9]. При проектировании СБИС Nextreme-2 от разработчиков не требуется выполнения сложных, занимающих много времени и дорогостоящих процедур, таких как вставка сканирующих цепочек, синтез дерева тактового сигнала, проектирование цепей питания и предотвращение падения на них напряжения, соблюдение целостности сигнала и борьба с наводками, разработка контролирующих тестов для тестирования БИС при производстве.

С использованием этого упрощённого маршрута, представленного на рис. 17, время проектирования обычно занима-

ет лишь несколько недель. Это позволяет разработчикам снизить цену проектных решений, доведя её до уровня FPGA, и поставить новые разработки на рынок, а затем быстро разработать производные продукты и приспособиться к изменчивым требованиям рынка.

Маршрут проектирования eTools 8.0 даёт возможность разработчикам в короткий срок реализовать требуемые функции, включая верификацию на регистровом уровне (RTL) и логический синтез. eTools 8.0 в ходе проектирования использует программное обеспечение для логического синтеза фирмы Synopsys или Magma DA. После окончания синтеза разработчики используют eTools 8.0 для отображения портов входа/выхода на выбранную комбинацию кристалла и корпуса, для глобального размещения блоков проекта, а также для получения результатов временного анализа, близких к результатам окончательной трассировки.

С помощью планировщика ePlanner, входящего в eTools 8.1, пользователь может произвести планировку критических по быстродействию частей проекта, если это требуется. Стадия размещения разделяется на шаги глобального и локального размещения. Глобальное размещение выполняется с использованием крупноблочного деления логической фабрики. Последовательное уточнение размещения позволяет быстро переходить к вариантам окончательной реализации с целью нахождения оптимального размещения и выходного контроля. Окончательное детальное размещение завершает стадию разме-

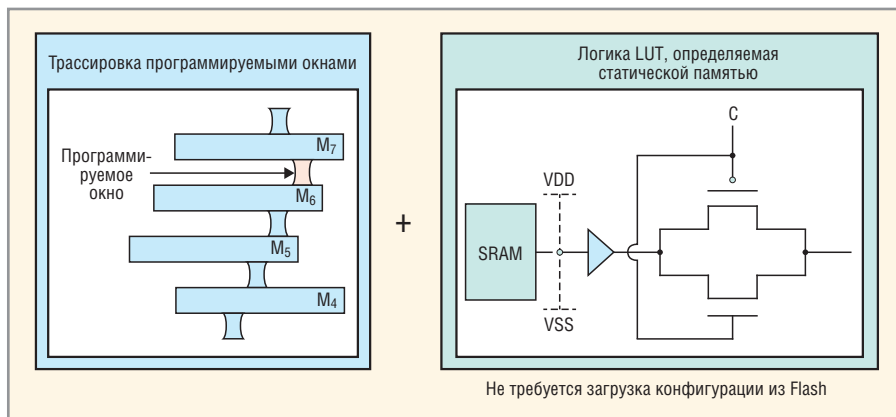


Рис. 14. Методология конфигурирования SBMK Nextreme VL

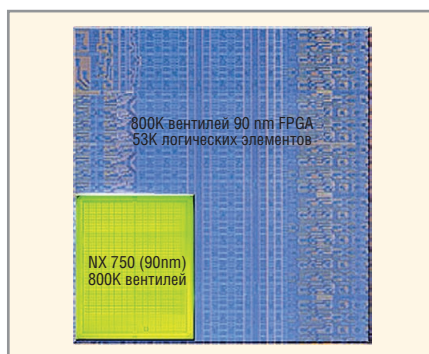


Рис. 15. Сравнение площади кристалла для FPGA и SBMK Nextreme

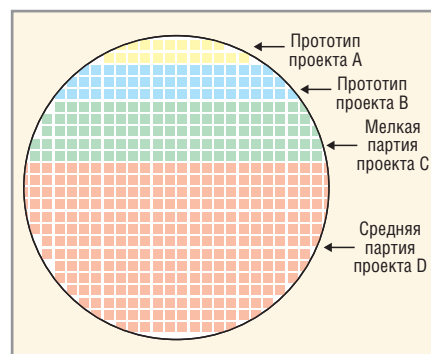


Рис. 16. Несколько проектов на одной пластине, реализованных с помощью электронного луча

щения и даёт аккуратную оценку быстродействия.

На окончательном шаге проектирования разработчики имеют возможность выбрать в качестве выходного описания либо синтезированную схему (netlist), либо описание схемы в размещённых вентилях. В случае выбора синтезированной схемы, для завершения проектирования требуется участие соответствующих служб компании eASIC.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БИС С ПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Основными характеристиками СБИС с программируемой архитектурой являются:

- удельный расход кремния на реализацию логических функций;
- удельное электропотребление;

Таблица 1. Основные характеристики семейства SBMK Nextreme

Тип кристалла	Число эквивалентных вентиляей	Число eCell	Распределенная память (макс.)		Блочная память (Block RAM)		Число PLL	Число DLL	Максимальное число используемых выводов
			число eRAM-блоков	объём eRAM, бит	число bRAM-блоков	объём bRAM, бит			
NX750LP	350 000	26 624	104	416 К	13	416 К	4	6	246
NX750	750 000	55 296	216	864 К	27	864 К	6	8	298
NX1500	1 500 000	100 352	392	1568 К	49	1568 К	8	8	450
NX2500	2 500 000	169 984	664	2656 К	83	2656 К	10	12	584
NX4000	4 000 000	276 480	1080	4320 К	135	4320 К	10	16	742
NX5000	5 000 000	358 400	1400	5600 К	175	5600 К	10	20	790

Таблица 2. Описание основных свойств кристаллов семейства Nextreme-2

Свойства	Кристалл					
	N2X260	N2X380	N2X550	N2X740	N2X300	N2X580
Число eCell	258 048	387 072	552 960	737 280	304 448	580 608
Число эквивалентных вентиляей, млн.	2,6	3,9	5,5	7,4	3	5,8
Число bRAM-блоков	112	168	240	320	132	252
Объём bRAM, Кбит	4032	6048	8640	11 520	4752	9072
Число Register Files	224	336	480	640	264	504
Число бит в Register File	112	168	240	320	132	252
Число PLL	16	16	16	16	12	12
Число DLL	28	36	52	52	20	20

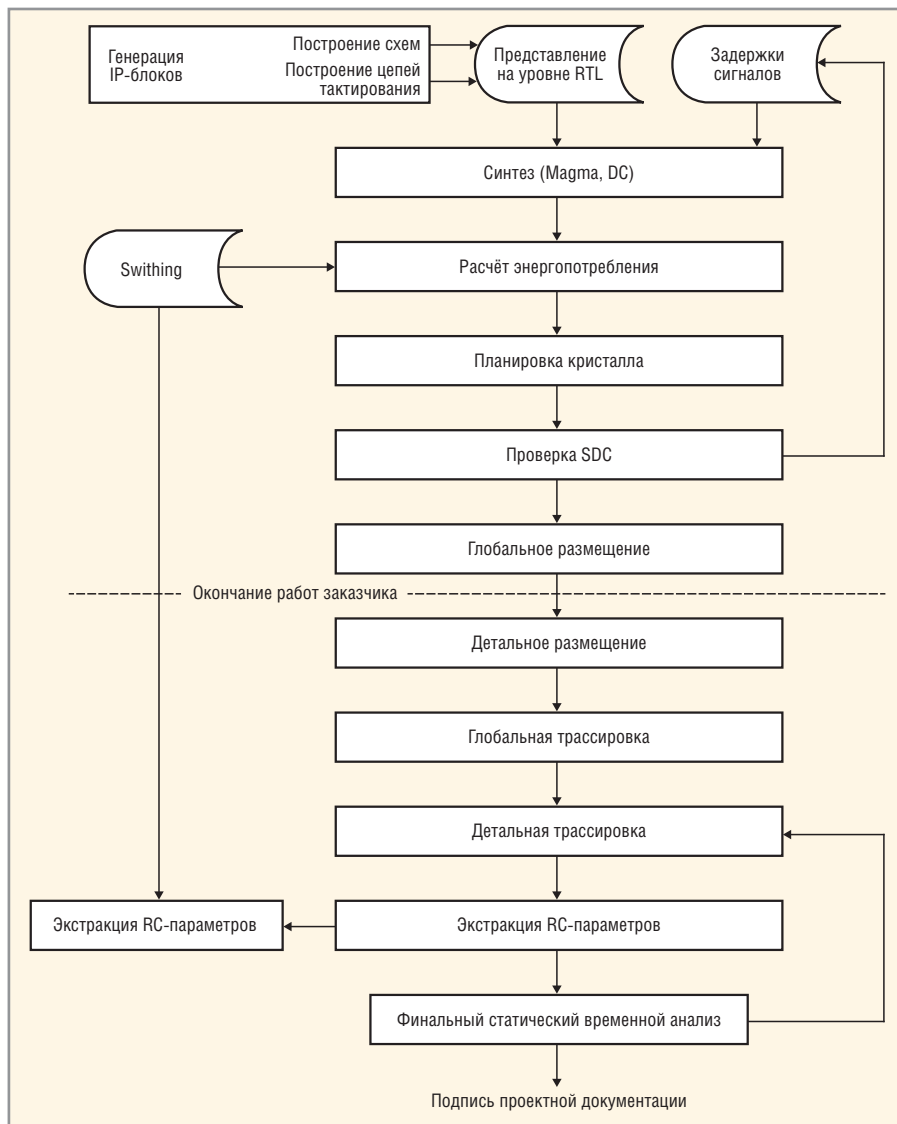


Рис. 17. Маршрут проектирования в системе eTools 8.1

- быстродействие;
- сложность и стоимость проектирования;
- длительность изготовления;
- стоимость изготовления опытных образцов микросхем;
- стоимость микросхем при серийных поставках.

Базовые соотношения этих характеристик по сравнению с соответствующими характеристиками БИС типа

ASIC приведены в таблице 3. При составлении таблицы полагалось, что соответствующее значение характеристики БИС типа ASIC равно 1.

Отметим, что характеристики ПСНК и СБМК существенно зависят от доли IP-блоков, входящих в их состав. Чем больше эта доля, тем их характеристики ближе к характеристикам ASIC. Пример зависимости коэффициента удельного расхода кремния от доли входя-

Таблица 3. Базовые соотношения характеристик БИС с программируемой архитектурой по сравнению с соответствующими характеристиками БИС типа ASIC

Характеристики	Типы БИС с программируемой архитектурой			
	ПЛИС	ПСНК	БМК	СБМК
Коэффициент удельного расхода кремния	10...12	7...10	1,5...2,0	2,5...3,0
Удельное электропотребление	7...10	5...7	1,2...1,5	1,7...2
Быстродействие	0,15...0,3	0,3...0,4	0,7...0,8	0,5...0,7
Сложность и стоимость проектирования	0,1...0,15	0,1...0,15	0,3...0,4	0,2...0,3
Длительность изготовления	-	-	0,15...0,2	0,05...0,1
Стоимость изготовления опытных образцов микросхем	-	-	0,15...0,2	0,07...0,12
Стоимость микросхем при серийных поставках	50...200	30...150	3...5	5...7

щих IP-блоков для различных типов БИС с программируемой архитектурой приведён на рис. 18.

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ СБИС, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ФАБРИКАХ, В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Разработка современных систем вооружения, спецсвязи, авиационной и космической техники неизбежно приводит к применению БИС, изготавливаемых по современным технологиям с проектными нормами не менее 60...90 нм. В ближайшее время эта планка может подняться ещё выше, до уровня 30...40 нм.

Изготовление СБИС такого уровня возможно только на зарубежных фабриках, расположенных в нейтральных странах и владеющих необходимыми технологиями. И хотя сейчас в России предпринимаются определённые попытки создать своё электронное производство с проектными нормами 90...130 нм, сроки выхода на серийное производство трудно прогнозировать. Эти производства будут иметь ограниченный класс технологических возможностей, за время их создания и запуска зарубежная электроника уйдёт вперёд и общее отставание по степени интеграции составит десятки раз, а по быстродействию – 5...7 раз.

Таким образом, для обеспечения паритетных возможностей при разработке специализированной аппаратуры российским разработчикам всё чаще приходится применять ЭКБ импортного производства, что позволяет заметно улучшить параметры разрабатываемой аппаратуры, сэкономить существенные деньги на проведении НИОКР по разработке собственной элементной базы.

Однако в случае применения импортной элементной базы приходится считаться со следующими негативными моментами:

- на отечественный рынок попадают импортные микросхемы, не соответствующие передовым технологиям, чаще всего в коммерческом исполнении, претензии в случае чего предъявлять некому;
- изделия военного и космического исполнения третьим странам продаются только в небольших количествах и только по решениям,

согласованным на уровне правительства;

- в сложных изделиях не исключается наличие «жучков» и других средств контроля (вспомним, например, известный случай, когда во время Фолклендского кризиса аргентинские ракеты «не хотели» взрываться, пробив обшивку английских военных кораблей);
- зарубежные поставщики не несут никакой ответственности за регулярные поставки, любое изделие в любой момент может быть снято с производства;
- в случае попыток организации закупок микросхем более или менее крупными партиями зарубежная сторона обычно начинает проявлять повышенное внимание к этому факту, весьма вероятен отказ в поставке крупной партии микросхем;
- цены на продаваемые у нас микросхемы после того, как они пройдут цепочку дилеров, повышаются в 2...3 раза.

Вышеперечисленные факторы сильно ограничивают, а может, и практически исключают применение импортных микросхем в ответственных серийных изделиях.

В качестве альтернативы импортным схемам рассмотрим применение в специализированных системах ЭКБ, изготовленной на зарубежных фабриках при стандартной схеме выполнения контрактных поставок. При этом изготовление СБИС осуществляется по технической документации, разработанной в России, тем более что сейчас в России имеется несколько десятков дизайн-центров, владеющих современными средствами проектирования. Использование «своих» проектов для применения в специализированных системах позволяет оптимизировать аппаратуру по параметрам и выполняемым функциям, получать хорошие характеристики по потреблению, массе и габаритам, однако в этом случае приходится считаться с тем, что:

- в руки потенциального противника попадает вся информация о разрабатываемых СБИС;
- не исключается несанкционированное внесение в проект «жучков» и других средств контроля, особенно если при проектировании используется закрытая топологическая библиотека типа «чёрный ящик»;
- зарубежный изготовитель не заинтересован в выпуске малотиражных изделий и поддержании технологии

их изготовления в течение длительного времени, в любой момент может оказаться, что технологии, по которой изготавливались нужные вам изделия, больше не существует, и вам предложат переделать все проекты;

- зарубежный изготовитель может вообще прекратить поставки в случае обострения международной обстановки или исходя из экономических соображений;
- для всех проектов придётся провести полный цикл испытаний и выпустить большой объём технической документации согласно российским ГОСТ.

Отметим, что высокономенклатурное, мелкосерийное производство изделий, к качеству которых предъявляются повышенные требования, является достаточно серьёзной проблемой даже при организации его в России.

Тем не менее, для обеспечения паритетных возможностей наших и зарубежных производителей спецаппаратуры и систем вооружений вопрос изготовления микросхем на фабриках нейтральных стран юго-восточной Азии решать надо. В противном случае наше отставание в области разработки систем вооружений, спецсвязи, авиационной и космической техники может нанести серьёзный урон национальной безопасности.

### БИС с ПРОГРАММИРУЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Решением проблемы производства за рубежом микросхем для систем связи и вооружений является применение СБИС с программируемой архитектурой, в частности, структурированные БМК, программируемые одним переменным шаблоном, а также ПЛИС и ПСНК, программируемые с помощью встроенного массива памяти.

В случае ПЛИС за рубежом изготавливаются пластины, а сборка осуществляется в России. В случае СБМК предполагается разделить процесс изготовления БИС на два этапа:

- изготовление базовых пластин-заготовок СБМК за рубежом;
- программирование конкретных зашивок и кодировок в России.

После проведения испытаний и сертификации эти ПЛИС и СБМК должны получить статус элементной базы, ко-

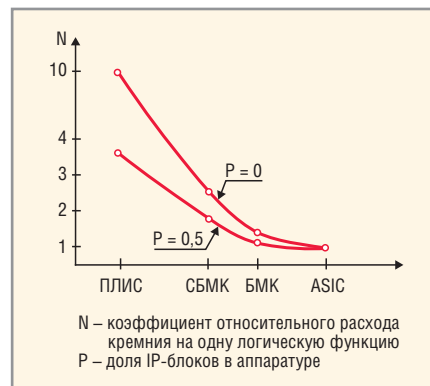


Рис. 18. Зависимость эффективности использования кремния для разных типов БИС при различном количестве встроенных IP-блоков

торую можно непосредственно применять в спецаппаратуре.

Предложенная схема распределения работ позволит на принципиально новом уровне обеспечить защиту данных и алгоритмов по сравнению с обычными СБИС.

В самом деле, при заказе изготовления на зарубежной фабрике программируемых БИС в руки потенциального противника могут попасть лишь схемные решения по записи программируемой информации и чистые массивы программируемых вентилей, которые решительно ничего не содержат. Основная, содержательная, закрытая часть информации о структуре устройства, связях между модулями и данных заносится в СБИС у нас, под нашим полным контролем.

Применение схем с программируемой логикой работы, кроме обеспечения высоких параметров микросхем и принципиально новой защиты информации, имеет ряд других, весьма важных преимуществ:

- многоплановое применение. Программируемые СБИС позволяют реализовывать на одном типе СБИС различные проекты. Если хорошо продумать типонаминалы СБИС программируемой логики, то с помощью 4–6 типов СБИС можно перекрыть очень широкий класс устройств;
- сокращение номенклатуры изделий. Очень сложно организовать за рубежом выпуск большой номенклатуры малотиражных микросхем. БИС с программируемой архитектурой позволяют сократить номенклатуру изготавливаемых за рубежом изделий до 4–6 типов, причём пластины с этими БИС можно заблаговременно закупать оптовыми партиями по низким ценам;

● упрощение разработки проектов, возможность их модификации. Аппаратура спецприменения, как правило, характеризуется небольшими тиражами и высокой сложностью. Сложный проект очень непросто сразу сделать «начисто», практически всегда появляется необходимость внесения изменений и дополнений, например, по результатам проведения лётных испытаний. Кроме того, в процессе эксплуатации серьёзной системы может возникнуть необходимость её модификации или модернизации. Все эти изменения и правки, как правило, означают переработку элементной базы и повторение заказа. В этой связи прямое использование БИС с программируемой архитектурой даёт возможность решить ряд больших экономических и организационных проблем, позволяя достаточно быстро вносить изменения в работу сложных систем путём перепрограммирования зашивочной информации.

### СОВМЕСТИМЫЕ СЕМЕЙСТВА ПЛИС-СБМК

Очень перспективным выглядит подход, при котором разработчикам аппаратуры предлагаются совместимые БИС с программируемой архитектурой, разработанные в России. Такими изделиями могут быть архитектурно и программно совместимые семейства ПЛИС и СБМК.

Можно предложить два параллельных семейства с числом системных вентилях 20 000, 100 000, 400 000 и 1 500 000.

Оба семейства настраиваются на требуемую конфигурацию путём записи идентичной зашивочной информации в тело СБИС. Разница заключается лишь в том, что в ПЛИС зашивочная информация хранится во встроенной конфигурационной памяти, а в СБМК эта же самая информация записывается с помощью одного программируемого переменного фотошаблона.

В этом случае разработчики смогут проводить разработку и выпуск макетных и опытных образцов аппаратуры на базе семейства ПЛИС. В конце разработки, получив полностью готовые проекты СБИС, заказчики смогут их быстро перевести в базис СБМК, существенно уменьшив габариты, повысив надёжность и радиационную стойкость

микросхем. При этом будет обеспечена полная преемственность проектов, заказчику даже не потребуется переделывать печатные платы.

Перевод проектов из базиса ПЛИС в базис СБМК будет носить формализованный характер. Для перевода потребуется сгенерировать по зашивочной информации ПЛИС один переменный шаблон и провести одну фотолитографию, что займёт вместе со сборкой микросхем по маршруту с военной приёмкой один месяц. Существующий маршрут конвертации проектов из базиса импортных ПЛИС в отечественные БМК [11–13] требует полной переработки схемы в базис БМК, проектирования топологии. После этого требуется изготовление 4–6 фотошаблонов с последующим проведением серии фотолитографий. При этом процесс изготовления занимает 4–5 месяцев и не всегда заканчивается успехом, что зачастую приводит к возникновению у заказчиков серьёзных проблем.

Для сокращения расхода кремния и увеличения быстродействия в состав семейств целесообразно включить не только программируемые вентили и блоки памяти, но и набор широко распространённых стандартных «жёстких» модулей (IP-блоков), имеющих предельные характеристики, например, из нижеприведённого списка:

- интерфейсы USB, SW;
- контроллеры JTAG, SPI, PCI (V2.1 33 МГц, 32 бита);
- блоки PLL, DLL;
- входы-выходы LVDS;
- блоки реконфигурируемых ОЗУ и ПЗУ;
- 32-разрядные таймеры;
- блок кварцевого генератора;
- АЦП 12 разрядов 5 МГц;
- ЦАП 12 разрядов 20 МГц.

Отметим, что наличие контроллера JTAG [17, 18] позволит упростить вопросы тестирования кристаллов и аппаратуры.

Состав дополнительных модулей может уточняться и варьироваться для различных СБИС семейства. Важно при этом обеспечить полную совместимость ПЛИС и СБМК по горизонтали и преемственность проектов снизу вверх. Предлагаемый подход позволит при оптимальном выборе IP-блоков для решения ряда задач практически полностью реализовать декларированные технологией параметры схем.

### ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРОЕКТОВ

При разработке электронных систем стратегического назначения большое значение приобретают вопросы информационной защиты проектов. Защищённые подлежат программное обеспечение и данные, хранимые в ПЗУ, алгоритмы работы электронных блоков, оперативные данные, хранимые в ОЗУ.

Защиту информации удобно осуществлять, если система реализована в виде СНК на СБМК, который программировался в России. В самом деле, в этом случае:

- потенциальный противник не владеет информацией о проекте;
- сильно затруднён доступ к выводам отдельных блоков СНК;
- есть возможность заложить встроенную криптозащиту информации в ПЗУ;
- возможна организация системы очистки ОЗУ при включении и выключении питания;
- появляется возможность организации криптозащиты логических блоков;
- резко сокращаются накладные расходы на организацию криптозащиты, поскольку она выполняется целиком внутри кристалла.

### Выводы

Таким образом, применение для разработки спецаппаратуры программируемой элементной базы позволит с помощью небольшого количества типов БИС решить задачу разработки самой различной радиоэлектронной аппаратуры, резко сократить сроки и стоимость разработки специализированных БИС.

За счёт разделения этапов изготовления базовых пластин и конкретных зашивок, этот подход обеспечит защиту проектных решений.

Для организации производства программируемых БИС в России не нужно иметь дорогостоящего оборудования для полного цикла изготовления пластин, достаточно иметь установку для фотолитографии верхнего слоя металла, а также измерительное и сборочное оборудование.

Реализация проекта позволит:

- предоставить разработчикам современную, гибкую элементную базу для разработки перспективных изделий;
- обеспечить минимальные сроки проведения работ по разработке и выпуску микросхем;

● организовать в России производство полузаказных СБИС на основе базовых пластин-заготовок, изготовленных за рубежом по современным технологиям.

По мере возникновения современного отечественного полупроводникового производства появится возможность быстро перенести на него отлаженные проекты.

Жизнь не стоит на месте: по мере запуска в России заводов по производству кристаллов (сейчас ведутся работы по запуску технологических линеек 130 нм) западные фирмы уйдут вперёд. Программируемая элементная база позволит нашим разработчикам использовать для выпуска БИС самые современные базовые пластины, включая изготовленные по «экзотическим технологиям», например UTSi KHC, что повышает шансы наших разработчиков при разработке паритетной аппаратуры.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Казеннов Г.Г.* Основы проектирования интегральных схем и систем. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005.

2. *Евтушенко Н., Немудров В., Сырцов И.* Методология проектирования систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства. Электроника. 2003. № 6.

3. <http://www.synopsys.com>.

4. <http://www.cadence.com>.

5. <http://www.mentor.com>.

6. <http://www.altera.com>.

7. <http://www.actel.com>.

8. <http://www.xilinx.com>.

9. <http://www.eASIC.com>.

10. [www.chipexpress.com](http://www.chipexpress.com).

11. *Семёнов М.Ю.* Принципы преобразования проектов из базиса ПЛИС в базис БМК. Микроэлектроника и информатика 97. Межвузовская научно-техническая конф. Часть 1. М.:МПИЭТ, 1997.

12. *Артёмов С.А.* Система управления переводом проектов в базисе ПЛИС при производстве микросхем в базисе БМК. Современные наукоёмкие технологии. 2005. № 1. С. 121–122.

13. *Евстигнеев В., Дегтярёв Е., Цыбин С., Быстрицкий А.* Импортозамещающая технология ПЛИС-БМК. Часть I. Разработка радиоэлектронной аппаратуры двойного применения. Компоненты и технологии. 2004. № 7.

14. *Salcic Z.* VHDL and FPGA in Digital system design, Prototyping and customization. Boston/London: Kluwer academic. 1998.

15. *Папташев Т.* Введение в проблему разработки и производства СБИС. Gatchina Nanoelectronics, Phoenix, Arizona, 2009.

16. Silicon-on-Insulator CMOS – Advantageous for sub-100 Nanometer Technology.

17. Новые возможности тестирования плат при помощи периферийного сканирования. Поверхностный монтаж. Март, 2010.

18. Аппаратное обеспечение системы Provision фирмы JTAG Technologies. Производство электроники. 2009. № 7–8.

19. *Po-Yang Hsu, Shu-Ting Lee, Fu-Wei Chen and Yi-Yu Liu.* Buffer Design and Optimization for LUT-based Structured ASIC Desing Styles. GLSVLSI'09 May 10–12 2009. Boston, Massachusetts, USA.

20. *King Ou.* Using ASIC Prototyping to Reduce Risks. CF-ASIC05-1.0, 101 Innovation Drive San Jose CA 95134.

21. The Syndicated. A Technical Newsletter for ASIG and FPGA Designers. Vol. 5. Issue 2. [www.synplicity.com/syndicated/](http://www.synplicity.com/syndicated/). ©

**ОАО «Воронежский Завод Полупроводниковых Приборов - Сборка»**

**СЕРИЙНО-ОСВОЕННОЕ ИЗДЕЛИЕ**

**ПЛИС 5576XC4T**

Типовая логическая емкость - 200 000 вентилей  
 Корпус - 4244.256-3 металлокерамический, 256-выводной  
 Диапазон температур окр.среды - от (-60 до +125) °C  
 Технические условия - АЕЯР.431260.734ТУ  
 Предоставляется услуга по формовке выводов, поставка в таре - спутнике!

Реклама

Контакты: (473) 223-69-51    [www.vzpp-s.ru](http://www.vzpp-s.ru)    [market@vzpp-s.ru](mailto:market@vzpp-s.ru)

# ЖК-дисплеи компании Litemax

Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)

В статье рассмотрены особенности современных TFT-дисплеев, предназначенных для встраиваемых приложений промышленного и специального назначения.

Основанная в 2000 г. компания Litemax (Тайвань) хорошо известна в России как поставщик TFT-дисплеев, предназначенных для жёстких условий эксплуатации. Законченные решения компании успешно применяются в ряде отраслей промышленности, горном деле, системах автоматизации, на наземном и водном транспорте, в медицинской технике, системах Digital Signage, в военной технике, системах видеонаблюдения и других приложениях.

В каталоге компании 2012 г. представлены изделия следующих категорий [1]:

- Durapixel LED B/L LCD – ЖК-панели серий DLF (30 типов) и DLH (30 типов) с диагоналями от 6,4 до 32 дюймов;
- Spanpixel Resizing LCD – широкоформатные ЖК-дисплеи серий SSF (12 типов), SSH (9 типов), SSD (15 типов) с диагоналями от 6,4 до 49 дюймов и различными форматами экрана;
- Transpixel Transparency LCD – прозрачные ЖК-дисплеи серии SSD (два типа, диагонали 17 и 29 дюймов);
- AOT Optical Bonding – ЖК-панели, выполненные по технологии AOT серий OLF (пять типов) и OLN (пять типов) с диагоналями от 6,4 до 15 дюймов;
- Open Frame LCD Display – ЖК-дисплеи в прочных корпусах для встраиваемых приложений серии SLO (28 типов) с диагоналями от 6,4 до 42 дюймов;
- Chassis LCD Display – ЖК-дисплеи серии SLD (32 типа) с диагоналями от 6,4 до 60 дюймов;
- Navpixel Marine Grade – судовые навигационные ЖК-дисплеи серии NPD (семь типов) и мониторы для

судовых панельных компьютеров серии NPS (три типа) с диагоналями от 8,4 до 21 дюйма;

- Ruggcore Fanless Controller – встраиваемые безвентиляторные контроллеры серии REC (семь типов);
- Panel PC System – панельный компьютер PPS1831 с диагональю 18,5 дюймов на базе процессора Intel ATOM D510 (набор ИС ICH8M) 1,66 ГГц с телефонным модемом и видекамерой 1,3 Мп;
- Digital Signage solutions – ЖК-панели для приложений Digital Signage серий SLA (12 типов), SSA (восемь типов), SLB (четыре типа), STA (два типа) и панель Litile 34 для бесшовных видеостен;
- LCD Monitor – стандартные компьютерные мониторы серии SLM (четыре типа) с диагоналями от 15 до 19 дюймов;
- Accessory – промышленные материнские платы SBC, платы HDMI-интерфейсов, платы драйверов светодиодов, платы АЦП, источников питания и инверторов.

Компания делает ставку на изделия со светодиодной подсветкой, обеспечивающей высокую яркость изображения в условиях сильной внешней засветки (технология Sunlight Readable Technology). Большинство изделий характеризуются:

- малой мощностью потребления;
- отсутствием вредных веществ;
- низким уровнем электромагнитных помех;
- встроенными драйверами светодиодов подсветки;

- длительным сроком эксплуатации;
- широким диапазоном регулировки яркости благодаря патентованной технологии АВТТМ (Advanced Brightness Technology).

Технология АВТТМ позволяет достичь диапазона регулировки яркости изображения до 200 : 1 (при использовании задней подсветки на лампах CCFL диапазон регулировки порядка 4 : 1), а также увеличить углы обзора по горизонтали и вертикали. ЖК-панели, оснащённые АВТ, позволяют адаптировать яркость подсветки к уровню освещённости, что способствует экономии электроэнергии при эксплуатации в затемнённых помещениях.

Для промышленных и специальных приложений большое значение имеют эксплуатационные параметры и показатели надёжности аппаратуры при работе в жёстких условиях. Изделия компании, удовлетворяющие таким требованиям, выпускаются в категориях Durapixel, AOT, Open Frame, Navpixel, Chassis LCD Display и Ruggcore.

Классификационные параметры ЖК-модулей категорий AOT Optical Bonding и Open Frame приведены в таблице.

При изготовлении ЖК-модулей серий OLF/OLN используется патентованная технология изготовления оптоэлектронных узлов ЖК-панелей AOT™ (Advanced Optoelectronic Technology), использование которой позволяет улучшить качество изображения за счёт увеличения отражательной способности поверхности экрана ЖК-панелей. Эффект достигается путём введения «оптической связки» (Optical Bonding) вместо воздушного зазора между внешним стеклом панелей и ЖК-матрицей. На рисунке 1 показаны составляющие отражённого ЖК-панелью света от внешней (R1), внутренней (R2) поверхностей стекла и от поверхности ЖК-матрицы (R3). В традиционных ЖК-панелях значения отражённых составляющих света примерно равны 4,5%, а общий уровень отражённого света – 13,5% (R1 + R2 + R3). Нанесение антибликовых покрытий (AR, Anti-reflective) на внешнюю и внутреннюю стороны защитного стекла и на поверхность ЖК-матрицы уменьшает уровень отражённого света

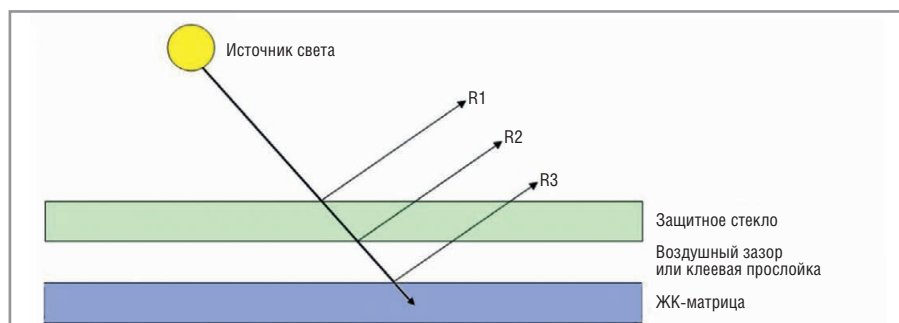


Рис. 1. Составляющие отражённого света от экрана ЖК-панелей

до 0,9%; введение в зазор «оптической связки» снижает отражение до 0,5% [2].

В качестве «оптической связки» для согласования индексов преломления поверхностей материалов ЖК-панелей, изготавливаемых по технологии AOT, компания Litemax применяет специальную полимерно-силиконовую плёнку (Index-matching Polymer Silicon). Визуально эффект внедрения AOT проявляется как «протирка запотевшего стекла» (см. рис. 2). В состав модулей серии OLF, кроме ЖК-панелей, входят платы драйверов светодиодной подсветки; модули OLN дополнительно комплектуются платами управления различных типов. Как видно из таблицы, все модули категории AOT Optical Bonding предназначены для жёстких условий эксплуатации. Следует отметить, что технология AOT применяется при производстве ЖК-панелей и других категорий.

ЖК-панели OLF/OLN1236 подходят для применения в военной технике, компьютерах повышенной прочности, в том числе планшетных, дисплеях для промышленности и транспорта. Панели обеспечивают отчётливое изображение при высоких уровнях

внешнего освещения; при любых погодных условиях поверхность панелей не конденсирует влагу. В обеих панелях применяется плата драйверов светодиодов подсветки LID 12A02; модель OLN1236 дополнительно комплектуется платами управления:

- AD5621GA – входы VGA и звука;
- AD5621GD – входы VGA, DVI;
- AD5766DVA – входы VGA, CVBS, S-VIDEO, звука; по заказу – DVI и компонентные входы;
- AD2662GDVAR – входы VGA, DVI; по заказу – S-VIDEO, компонентные и звуковые входы.

Рассматриваемые панели выполнены в корпусах с габаритами 278×211×16 мм, потребляемая мощность 17 Вт, входной интерфейс LVDS. На переднюю панель выведены пять кнопок управления, на заднюю – четыре, через меню обеспечивается регулировка яркости, контрастности, геометрических параметров, цветности и др. По заказу поставляются изделия с сенсорными экранами. В комплекте поставки имеются блок питания (12 В, 5 А) и кабели питания.

Отличием ЖК-дисплеев категории Open Frame является отсутствие декоративного кожуха, а вся «начинка»



Рис. 2. Эффект применения технологии AOT Optical Bonding

смонтирована на прочной металлической раме. Такие конструкции отлично подходят для встраиваемых приложений. Рассмотрим особенности некоторых панелей данной категории более подробно.

SLO0868 (см. рис. 3) – дисплей высокой яркости (1600 нит), предназначенный для эксплуатации в жёстких условиях; сенсорный экран дисплея выполнен с использованием технологии AOT и обеспечивает отличную «читаемость» изображения при высоких уровнях внешнего освещения (Sunlight Readable). Компания гарантирует длительный срок службы, стабильность параметров и высокую надёжность дисплеев; основные параметры приборов:



## ПОСТАВЩИК ПЛАТФОРМ СОВЕРШЕННЫХ РЕШЕНИЙ

Считывание при прямом солнечном освещении, широкий температурный диапазон, низкая потребляемая мощность, повышенная защищённость, длительный ресурс, низкий профиль, небольшой вес.

### Интеллектуальная панель SLO1568

#### Основные характеристики

- Светодиодная подсветка, обеспечивающая считывание изображения при ярком внешнем освещении
- Высокая яркость 1600 кд/м<sup>2</sup>
- Отсутствие охлаждающего вентилятора
- Низкая мощность потребления 23 Вт, включая плату управления
- Датчик внешней освещённости
- Низкопрофильная конструкция корпуса
- Интеллектуальная конструкция панели с принципом «подключи и работай»
- Широкий диапазон рабочих температур от -20 до +75°C

#### Применения

- Информационные киоски
- Наружные информационные установки
- Локальные цифровые видеосети
- Транспорт
- Телевизионные студии
- Диспетчерские



### 15", 29", 38" удлинённые ЖК-дисплеи



#### Основные характеристики

- Ультраширокое соотношение размеров (16:9 и 16:3)
- Яркость 500 и 1000 кд/м<sup>2</sup>
- Узкая конструкция фальшпанели
- Портретный и ландшафтный форматы
- Высокая контрастность
- Широкий угол обзора
- Сенсорный экран (опция)

#### Применения

- Магазины розничной торговли
- Отели и казино
- Концертные залы
- Выставки
- Аэропорты
- Торговые пассажи

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ LITEMAX

PROSOFT®

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



Реклама

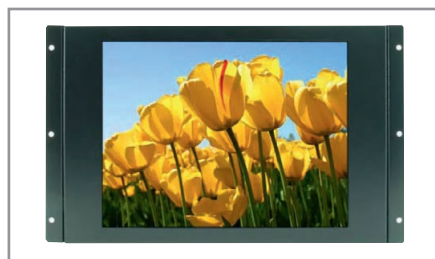


Рис. 3. Внешний вид дисплея SL00868



Рис. 4. Внешний вид дисплея SL01564



Рис. 5. Внешний вид дисплея SL02115

- потребляемая мощность 9,7 Вт, габариты 253 × 153 × 43,6 мм, вес 1,3 кг;
- плата драйверов светодиодной обратной подсветки LID08A06;
- платы управления (по заказу) – AD5261GA, AD5261GD, AD2662GDVAR (как и для панелей OLF/OLH1236).

SL01564 (см. рис. 4) – дисплей высокого разрешения с яркостью до 800 нит (класса Sunlight Readable) сочетает высокие параметры и привлекательную цену. Дисплеи могут найти применение в судовом и медицинском оборудовании, военной технике, на транспорте и в промышленности. Габариты дисплея 350 × 254 × 31 мм, вес 1,4 кг, потребляемая мощность 13,5 Вт. Для управления светодиодами подсветки используется плата LID15A06, остальные платы те же, что в рассмотренных выше диспле-

ях, добавлена плата AD5766GDVA (VGA, S-VIDEO, AUDIO, заказные DVI и компонентные входы). Дисплеи могут выпускаться в исполнениях с AOT и сенсорными экранами.

SL01764, SL01964 – дисплеи высокого разрешения с яркостью 800 нит, высоким коэффициентом пропускания цветных и поляризационных фильтров (High transmittance color filter, High transmission polarizing plate). Размеры корпуса в стиле Smart Panel Design 390 × 297 × 36 мм (429 × 327 × 37 мм), вес 2,3 кг (2,75 кг), мощность потребления 16,3 Вт (22,1 Вт). Дисплеи рекомендованы для применения в рекламных киосках, игровых устройствах, на транспорте и заправочных станциях, кассовых аппаратах и т.п. В качестве драйверов светодиодов подсветки используются платы

LI17A08/LID19A04, платы управления те же, что и в рассмотренных моделях.

SL02115 (см. рис. 5) – полноцветный ЖК-дисплей высокой чёткости (FHD) с яркостью до 1000 нит (класс Sunlight Readable), обеспечивающий воспроизведение 16,7 млн. цветов; в панели дисплея используются вертикальные триады пикселей RGB размерами 0,24825 × 0,24825 мм.

По желанию заказчика модули могут оснащаться сенсорными экранами (резистивными или емкостными). При производстве дисплеев используется технология Durapixel™, обеспечивающая длительный срок эксплуатации (до 70 000 ч) и позволяющая использовать модули в жёстких условиях. Однако диапазон рабочих температур охватывает только положительные зна-

**Классификационные параметры ЖК-модулей категорий AOT Optical Bonding и Open Frame компании Litemax**

Категория	Тип прибора	Размер по диагонали (дюймы)	Формат	Разрешение	Яркость, кд/м <sup>2</sup>	Контрастность	Время отклика, мс	Углы обзора, град	Эксплуатационные параметры
AOT	OLF/OLH0615	6,4	4 : 3	640 × 480 (VGA)	1000	400 : 1	40	120/95	-20...+60°C, вибро-/ударо-/вандалопрочный, 70 000ч
	OLF/OLH1055	10,4	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	800	1200 : 1	40	176/176	-20...+60°C, вибро-/ударопрочный, 70 000 ч
	OLF/OLH1075	10,4	4 : 3	800 × 600 (SVGA)	1000	600 : 1	35	140/110	-30...+70°C, вибро-/ударо-/вандалопрочный, 70 000 ч
	OLF/OLH1236	12,1	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	1000	700 : 1	25	160/160	-30...+70°C, вибро-/ударо-/вандалопрочный, 70 000 ч
	OLF/OLH1555	15	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	1500	700 : 1	25	160/160	-30...+70°C, вибро-/ударо-/вандалопрочный, 70 000 ч
Open Frame	SL00615	6,4	4 : 3	640 × 480 (VGA)	1000	400 : 1	40	120/95	-20...+60°C, вибро-/ударопрочный, 90%RH
	SL00625	6,5	4 : 3	640 × 480 (VGA)	1000	600 : 1	25	160/140	Вибро-/ударопрочный
	SL00868	8,4	4 : 3	800 × 600 (SVGA)	1600	600 : 1	35	160/140	Вибро-/ударопрочный
	SL01055	10,4	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	800	1200 : 1	40	176/176	-20...+60°C, 90%RH, вибро-/удароустойчивый
	SL01068	10,4	4 : 3	800 × 600 (SVGA)	1600	400 : 1	25	110/130	-20...+60°C, вибро-/ударопрочный
	SL01095	10,4	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	1000	600 : 1	36	178/178	-20...+70°C, 90%RH, вибро-/удароустойчивый
	SL01268	12,1	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	1600	700 : 1	35	160/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01315	13,3	16 : 10	1280 × 800 (WXGA)	1000	800 : 1	16	140/120	-20...+70°C, 90%RH, вибро-/удароустойчивый
	SL01564	15	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	800	700 : 1	8	160/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01568	15	4 : 3	1024 × 768 (XGA)	1600	600 : 1	8	160/160	-20...+60°C, вибро-/ударопрочный
	SL01764	17	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	800	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01768 (WT)	17	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	1600	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01781	17	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	300	800 : 1	8	170/160	-
	SL01825	18,5	16 : 9	1366 × 768 (WXGA)	1000	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01964	19	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	800	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01968	19	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	1600	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный
	SL01975	19	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	1000	2000 : 1	20	178/178	Вибро-/ударопрочный
	SL01981	19	5 : 4	1280 × 1024 (SXGA)	300	1000 : 1	5	170/160	-
	SL02115	21,5	16 : 9	1920 × 1080 (FHD)	1000	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный, 70 000 ч
	SL02225	22	16 : 10	1680 × 1050 (WSXGA+)	1000	1000 : 1	5	170/160	-
SL02415	24	16 : 9	1920 × 1080 (FHD)	1000	1000 : 1	5	170/160	Вибро-/ударопрочный	
SL03245	32	16 : 9	1366 × 768 (WXGA)	1000	2500 : 1	7	176/176	Вибро-/ударопрочный	
SL04215	42	16 : 9	1366 × 768 (WXGA)	1000	1500 : 1	20	178/178	-	
SL04225	42	16 : 9	1920 × 1080 (FHD)	1000	3000 : 1	8,5	176/176	Вибро-/ударопрочный	

чения (0...50°C) и относительную влажность 5...90%; другие особенности и параметры модуля:

- интерфейс управления LVDS через 15-контактный разъём D-sub;
- сигнальный интерфейс DVI (29-контактный разъём);
- плата драйверов светодиодов подсветки LID21A01;
- по заказу – платы управления AD5621GA/GD, AD2662GDVAR;
- габариты 545 × 370 × 60 мм, вес 5,5 кг, потребляемая мощность 20,5 Вт;
- напряжения питания 5 В/1,17 А (схемы управления); 12 В/1,89 А (схемы подсветки); ток потребления светодиодов подсветки 1,028 А (частота ШИМ-сигналов 200 кГц); КПД 93,5%.

В платах управления модуля используется микросхема интерфейса LVDS типа SN75LVDS82 (серия FlatLink™) компании Texas Instruments. Ресивер содержит четыре последовательных входных регистра сдвига, преобразующих входные сигналы в семиразрядный параллельный код, и пять низковольтных дифференциальных сигнальных линий (LVDS). Микросхема также обеспечивает канальное восстановление сжатых данных со скоростью до 227,5 Мб/с и может быть использована для передачи данных от контроллеров к дисплеям SVGA, XGA, SXGA. Напряжение питания микросхемы 3,3 В, мощность потребления 250 мВт; структура микросхемы показана на рисунке 6, размеры корпуса DGG (R-PDSO-G) с 56 выводами 14 × 6,2 × 1,2 мм (подходит для монтажа на гибкие печатные платы).

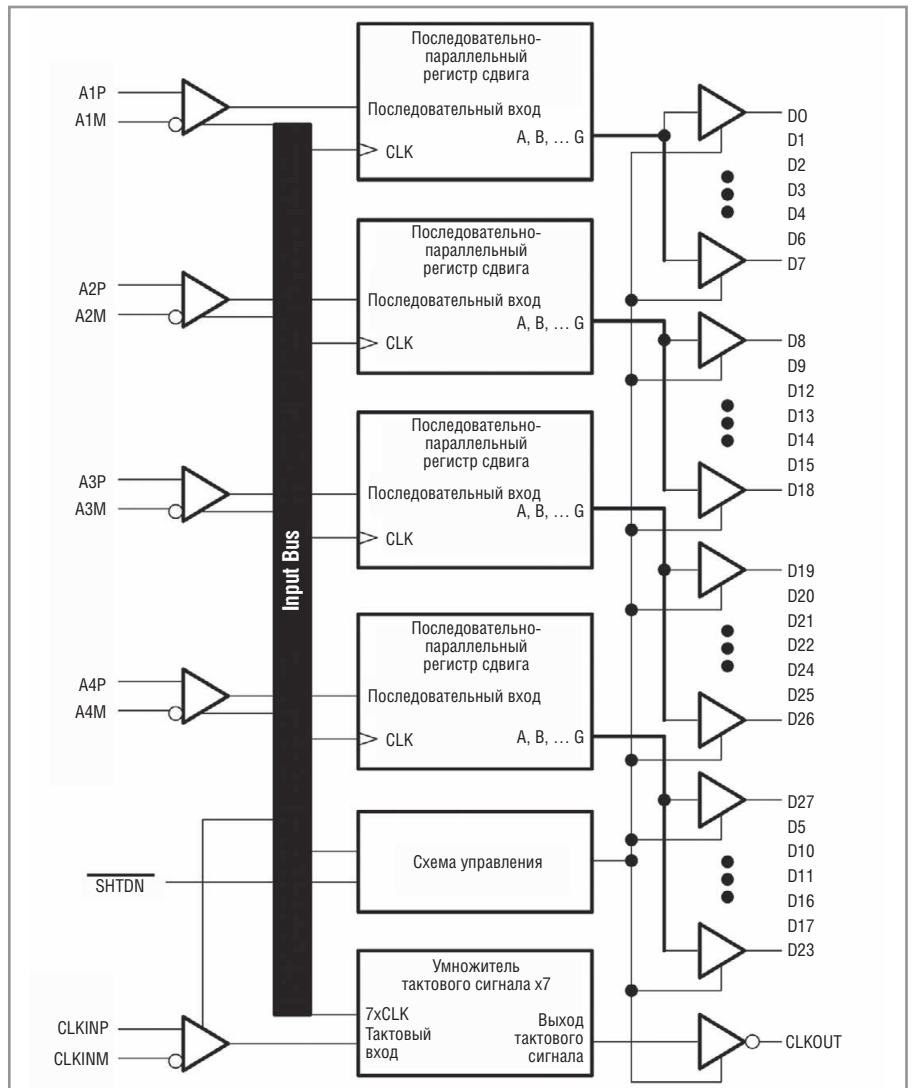


Рис. 6. Структура микросхемы SN75LVDS82

SLO2225 (см. рис. 7) – полноцветный ЖК-дисплей высокой чёткости WSXGA+ с CCFL-подсветкой. От соответствующих параметров модели SLO2115 рас-

сматриваемый дисплей отличается габаритами (544 × 370 × 60 мм), весом (5,68 кг) и потребляемой мощностью (70 Вт). По заказу дисплей может быть

# ЭК ЗИП

Огромный ассортимент

Всегда в наличии на складе

www.zip-2002.ru

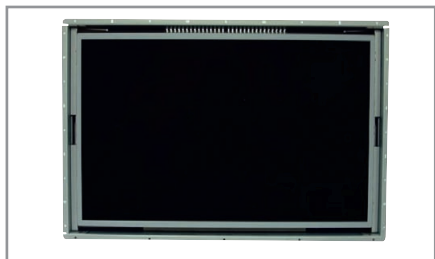


Рис. 7. Внешний вид дисплея SLO2225



Рис. 8. Внешний вид дисплея SLO2415



Рис. 9. Внешний вид дисплея SLO4225

выполнен в водонепроницаемом корпусе, а в качестве дополнительной платы управления может использоваться плата AD5766GDVA (VGA, CVBS, S-VIDEO, AUDIO, DVI, COMPONENT). Дисплей может отображать информацию с различным разрешением в соответствии с форматами VGA, SVGA, XGA, SXGA, WXGA, WXGA+, SXGA+, UXGA и частотой кадров 60...75 Гц.

SLO2415 (см. рис. 8) – полноцветный ЖК-дисплей высокой чёткости (FHD) с высокой (до 1000 нит) яркостью изображения, выполненный по технологии Durapixel™ (класс Sunlight Readable). Дисплеи могут эксплуатироваться в диапазоне температур 0...50°C при относительной влажности 5...90%. По требованию заказчика панели могут выполняться по технологии AOT и с сенсорным экраном. Основные параметры дисплея:

- интерфейс управления LVDS;
- плата драйверов светодиодов LID24A01;
- платы управления AD5621GA/GD, AD5766GDVA, AD2662GDVAR (по заказу);
- габариты 586 × 326 × 37 мм, вес 4,2 кг;
- мощность потребления 44 Вт;
- напряжение питания 5 В/1,2 А (схемы управления); 12 В/2,86 А (схемы подсветки); ток светодиодов подсветки 1,5 А, частота модуляции ШИМ-сигналов 125 кГц, КПД 93%.

Плата управления AD2662GDVAR, разработанная для промышленных и коммерческих приложений, обеспечивает аналого-цифровые преобразования входных сигналов в полосе частот до 205 МГц. При наличии датчика освещённости плата может автоматически поддерживать оптимальную яркость изображения при изменении внешней освещённости. Обеспечивается также управление скоростью вращения вентилятора охлаждения дисплея. В состав платы входят: схема формирования графики на экране (OSD), инвертор с аналоговым или ШИМ-управлением, интерфейс RS-232, инфракрасный приёмник дистанционного управления.

SLO4225 (см. рис. 9) – ЖК-дисплей высокой чёткости (FHD) со светодиодной подсветкой и высокой яркостью изображения класса Sunlight Readable, выполненный по технологии Durapixel™ с размерами пикселей 0,1615 × 0,485 мм. Дисплей способен работать в диапазоне температур 0...50°C, при этом температура поверхности ЖК-модуля не должна превышать 65°C, относительная влажность до 90% при температуре окружающей среды до 40°C. Основные параметры дисплея:

- габариты 972 × 620 × 62 мм, вес 22,5 кг;
- мощность потребления 162 Вт;
- напряжение питания 12 В/0,78 А (схемы управления на белом поле); 24 В/5,23 А (схемы светодиодной подсветки при наибольшей яркости);
- тактовая частота LVDS-интерфейса 74,25 МГц, нестабильность фронта/среза импульсов не более 200 пс;
- ток в цепях светодиодов (28 каналов) при максимальной яркости 2,473 А, рабочая частота ШИМ-сигналов 240 Гц, КПД 95%.
- плата драйверов светодиодов LID42C01;
- платы управления AD5621GA/GD, AD5766GDVA, AD2662GSVAR (по заказу);

- габариты 972 × 620 × 62 мм, вес 22,5 кг;
- мощность потребления 162 Вт;
- напряжение питания 12 В/0,78 А (схемы управления на белом поле); 24 В/5,23 А (схемы светодиодной подсветки при наибольшей яркости);
- тактовая частота LVDS-интерфейса 74,25 МГц, нестабильность фронта/среза импульсов не более 200 пс;
- ток в цепях светодиодов (28 каналов) при максимальной яркости 2,473 А, рабочая частота ШИМ-сигналов 240 Гц, КПД 95%.

В заключение рассмотрим особенности платы LID19A01, используемой в продукции компании и поставляемой различным потребителям.

LID19A01 – плата драйверов светодиодов задней подсветки (96 штук) для ЖК-панелей с диагональю 19 дюймов; основные параметры:

- входное напряжение/ток при максимальной яркости 12 В/2,671 А;
- выходной ток/напряжение при максимальной яркости 1,76 А/17,688 В;
- рабочая частота коммутации/ШИМ 125 кГц/200 Гц;
- пределы регулировки яркости при управлении напряжением  $V_{adj} = 0,5...4,8$  В;
- эффективность преобразования (КПД) 95,4% при  $U_{вх} = 12$  В,  $V_{adj} = 0$ ;
- размеры платы 124 × 50 мм.

LID19A01, как и ряд других плат компании, выполнена на микросхеме LTC3783 фирмы Linear Technology и обеспечивает ШИМ-регулировку яркости светодиодов в пределах 3000 : 1, а также аналоговую регулировку яркости постоянным напряжением  $V_{adj}$  в пределах 100 : 1. Типовая схема включения ИС приведена на рисунке 10, в качестве выходных ключей применены полевые транзисторы IRFZ44NS фирмы International Rectifier, выполненные по технологии HEXFET™ ( $R_{ds\ on} = 17,5$  мОм при токе стока 25 А).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. <http://www.litemax.com/>.
2. <http://www.veritasetvisus.com/VVHR-8,%20Walker.pdf>.

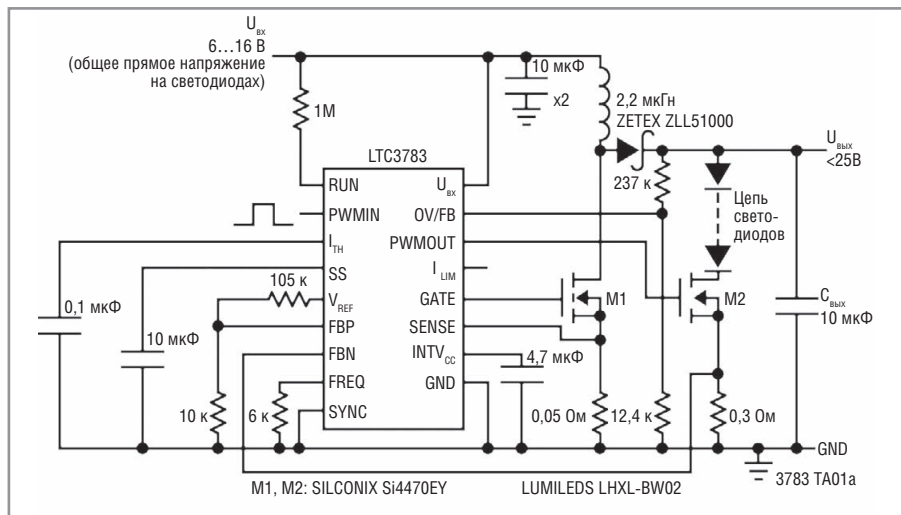


Рис. 10. Типовое включение микросхемы LTC3783





ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА СЛУЖБЕ ОТЕЧЕСТВУ**

## Контрактное производство



электронных изделий любой сложности по конструкторской документации заказчика

### ★ **Электронные компоненты**

Поставка отечественных и импортных радиоэлектронных компонентов и материалов, полное комплектование производственных программ



### ★ **Поставка печатных плат**

ДОЛОМАНТ является партнером мировых лидеров по производству печатных плат



### ★ **Монтаж печатных плат**

Уникальные автоматизированные технологические линии для SMT- и THT-монтажа. Все виды работ по стандартам ГОСТ и IPC



### ★ **Сборка приборов, стоек, шкафов**

Полный цикл производства электроники



## Заказные разработки



в соответствии с ТЗ заказчика, в том числе изделий специального назначения

## Разработка и производство электронного оборудования и программного обеспечения



Более 500 изделий для специальных применений и жестких условий эксплуатации

## Поставка в качестве второго поставщика



Более 400 000 наименований изделий иностранного производства под контролем военного представительства

## Специальные проверки и исследования

**Контакты** Россия, 117437, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108  
Тел.: (495) 234-0639, факс: (495) 232-1654  
Web: [www.dolomant.ru](http://www.dolomant.ru), E-mail: [info@dolomant.ru](mailto:info@dolomant.ru)  
**Заказные разработки** E-mail: [cd@dolomant.ru](mailto:cd@dolomant.ru)

**Контрактное производство электроники** Россия, 117342, г. Москва, ул. Введенского, д. 3  
Тел.: (495) 739-0775, факс: (495) 739-0776  
E-mail: [product@dolomant.ru](mailto:product@dolomant.ru)



# Поколение процессоров Ivy Bridge: эволюция встраиваемых платформ продолжается

Анатолий Сысоев (Москва)

Заметным событием 2012 г. на рынке встраиваемых компьютерных технологий и систем промышленной автоматизации стал выпуск процессоров Intel Core третьего поколения, известных под кодовым наименованием Ivy Bridge. Ведущие производители аппаратных средств достаточно быстро представили на рынке продукты на основе новых процессоров, создав предпосылки для очередного витка эволюции встраиваемых систем.

Смена поколений процессоров Intel Core не гарантирует массовый переход индустрии встраиваемых решений на новую платформу. Чтобы этот переход состоялся, разработчикам встраиваемых решений требуются по-настоящему убедительные основания. Предыдущее, второе поколение Intel Core, известное также как Sandy Bridge, оказалось довольно успешным на рынке встраиваемых систем. С момента официальной премьеры первых процессоров Intel Core второго поколения прошло менее двух лет, и нельзя утверждать, что они безнадежно устарели. Тем интереснее рассмотреть процессоры третьего поколения Intel Core, оценить их достоинства, а также возможные варианты реализации систем на их основе.

## ЗАКОН ЕСТЬ ЗАКОН

Регулярное обновление процессорных платформ Intel никого не удивляет. И за третьим поколением через некоторое время должно последовать четвертое. Недавний форум IDF (Intel Developer Forum) в Сан-Франциско, традиционно собравший приверженцев экосистемы Intel, обрисовал контуры обновленной платформы.

Привычные быстрые темпы развития процессорной архитектуры IA связаны, в первую очередь, с известным законом Мура, носящим имя одного из основателей и нынешнего почетного председателя совета директоров Intel. Этот закон впервые был сформулирован Гордоном Муром ещё в 1960-х годах (как эмпирическое наблюдение) и с тех пор превратился в инструмент маркетинга и планирования исследо-

ваний и разработок. Существуют различные его трактовки, но большинство из них подразумевает значительное улучшение характеристик процессоров (производительность, общее количество транзисторов, плотность их размещения на кристалле) с периодичностью 18–24 месяца.

Несмотря на многочисленные попытки скептиков (среди которых отметился и сам Мур) предсказать окончание его действия, закон продолжает работать. В ходе уже упоминавшегося сентябрьского форума IDF от имени Intel вновь было заявлено, что серьезных угроз закону Мура в настоящее время нет и «не предвидится, по крайней мере, в ближайшее десятилетие». Если же оглянуться на десять лет назад, мы увидим, что с тех пор технологические нормы изготовления процессоров Intel пять раз менялись в сторону уменьшения (см. рис. 1).

В соответствии с принципом чередования производственных и архитектурных нововведений, принятым на вооружение корпорацией в 2007 г., третье поколение процессоров Intel Core знаменует собой внедрение на предприятиях Intel 22-нм технологического процесса и трёхмерных транзисторов. Собственно, в этом и состоит главное отличие Ivy Bridge от процессоров Sandy Bridge, выполненных по технологии 32 нм с применением планарных транзисторов. Усовершенствование техпроцесса позволило уменьшить площадь кристалла до 160 кв. мм против 216 кв. мм соответственно у сопоставимых четырёхъядерных вариантов Ivy Bridge и Sandy Bridge. Одновременно были увеличены плотность размещения и общее число транзисторов на кристалле – 1,4 млрд. против 1,16 млрд. в том же примере. Следствием перехода на меньшие топологические нормы стало снижение энергопотребления процессоров Ivy Bridge и увеличение их производительности по сравнению с Sandy Bridge. В целом, по оценкам независимых экспертов, технологические усовершенствования обеспечили третьему поколению Intel Core общий прирост вычислительной мощности до 20%, а производи-

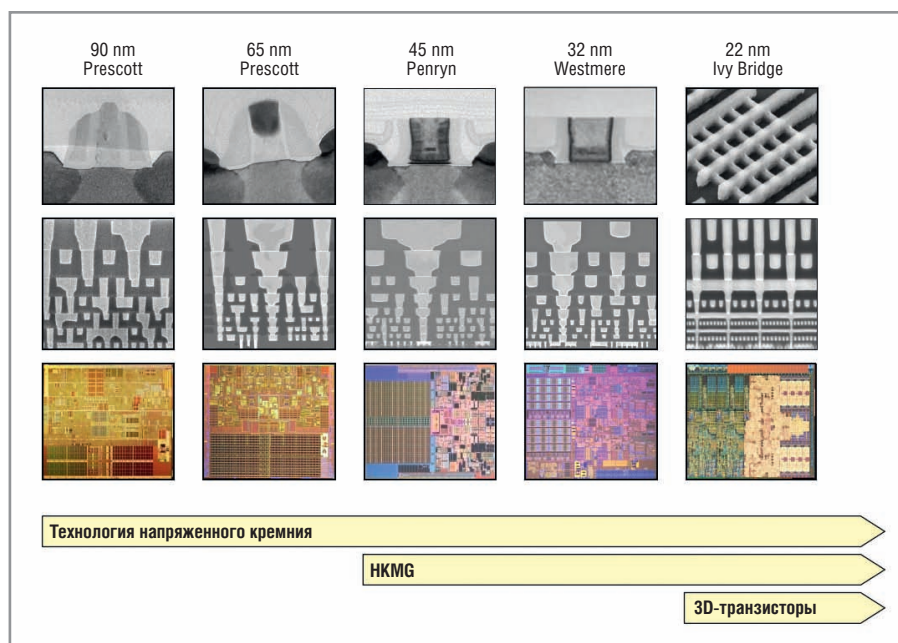


Рис. 1. Эволюция полупроводниковых технологий и поколения процессоров Intel, 2003–2012 гг.

HKMG (High-k, metal gate) – технология металлических затворов с использованием материала с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k) на основе гафния в качестве диэлектрика затвора



**Больше**  
Энергоэффективность  
Производительность

**Меньше**  
Затраты на разработку  
Время вывода системы  
на рынок

# Третье поколение Intel Core

Встраиваемые платформы на основе новых 22-нм процессоров Intel Core i7 третьего поколения (Ivy Bridge) для лучшего решения перспективных задач.



COM Express



Flex-ATX/  
MiniITX



AdvancedMC/MicroTCA  
AdvancedTCA



VME/VPX



CompactPCI 3U/6U

- Лучшая энергоэффективность.
- Великолепная производительность.
- Интегрированная графика теперь вдвое быстрее!
- Соответствие открытым стандартам.
- Передовые технологии: улучшенная обработка векторных данных AVX, 1/10 GB Ethernet, PCI Express Gen3, SATA III, USB 3.0.
- Максимальная надежность и соответствие жестким эксплуатационным требованиям: исполнение от 0°C до +50°C и от -40°C до +85°C.
- MTBF от 150 000 часов.

- Расширенная поддержка ОС: Windows/Windows Embedded, Linux, LynxOS, VxWorks, QNX и др.
- Длительный жизненный цикл от 7 лет.
- Конкурентоспособные цены.
- Профессиональная поддержка «РТСофт» и Kontron на всем жизненном цикле вашей системы!

Используйте готовые комплекты разработчика и тестовые образцы. Закажите тест-драйв!



105037, Москва, Никитинская 3, ЗАО «РТСофт». Тел.: (495) 967-1505. Факс: (495) 742-6829. e-mail: rtsoft@rtsoft.ru www.rtsoft.ru

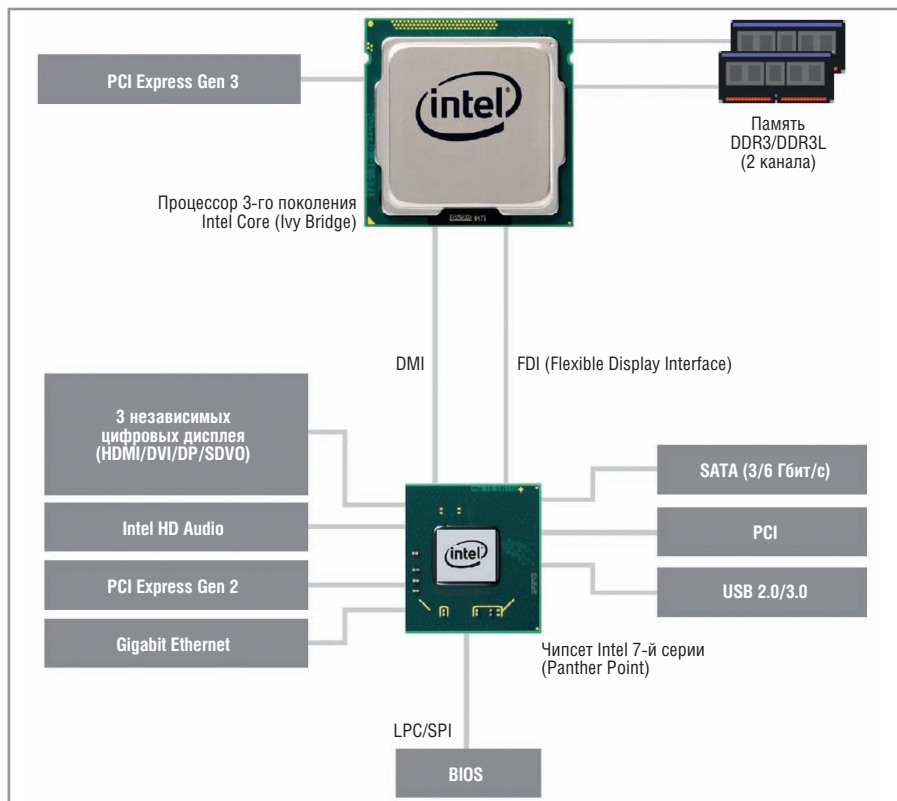


Рис. 2. Общая структура платформы встраиваемых компьютерных систем на базе процессоров Intel Core третьего поколения (кодирование Ivy Bridge)

ности в расчёте на один ватт потребляемой электроэнергии – до 40%.

В архитектурном отношении третье поколение Intel Core от второго отличается незначительно. Микроархитектура Ivy Bridge представляет собой производную от Sandy Bridge. Некоторые отличия, конечно, присутствуют, но о радикальных новшествах, подобных технологии AVX (Advanced Vector Extensions) в процессорах Sandy Bridge, в данном случае речи не идёт.

По мнению специалистов, именно поддержка технологии AVX, дополнившей набор команд x86-совместимых процессоров векторными расширениями для работы с данными в формате с плавающей точкой, в своё время обеспечила второму поколению Intel Core некоторое преимущество на рынке встраиваемых решений. От третьего поколения Intel Core, в отличие от второго, революционных изменений на рынке встраиваемых технологий никто не ждал. Тем не менее, разработчики встраиваемых решений встретили выход процессоров Ivy Bridge позитивно.

### ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА IVY BRIDGE В КОНТЕКСТЕ РЫНКА ВСТРАИВАЕМЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Существует довольно внушительный пласт встраиваемых приложений, ко-

торым всегда требуется наивысшая доступная на рынке производительность вычислений, обработки сигналов и графических операций в сочетании с максимально возможной пропускной способностью каналов связи. К таким приложениям относятся, в первую очередь, высокопроизводительные интеллектуальные системы, проектируемые для нужд оборонной и аэрокосмической отраслей, а также системы цифровой обработки сигналов для сферы телекоммуникаций и решения для работы с графическими данными, применяемые в промышленности и медицине.

Для всех этих задач платформа Ivy Bridge на сегодняшний день представляется хорошим выбором, поскольку реализует все архитектурные достоинства Sandy Bridge на базе более прогрессивной технологии производства. Не будем забывать и о том, что эта технология позволила разместить на кристалле Ivy Bridge более мощное графическое ядро, которое может включать до 16 исполнительных устройств (у Sandy Bridge – не более 12) и поддерживает программные интерфейсы DirectX 11, OpenGL 3.1 и OpenCL 1.1. При этом площадь кристалла не увеличилась, а наоборот – уменьшилась. Среди приложений, которыми могут быть востребованы усо-

вершенствованные функции третьего поколения процессоров Intel Core, специалисты отмечают оборонные системы обнаружения (радары, сонары), устройства обработки видеосигналов, системы связи и медицинские системы компьютерной диагностики. Вместе с тем высоким потенциалом для применения платформы Ivy Bridge обладают и другие вертикальные рынки – информационно-развлекательные транспортные системы, решения для розничной торговли, игровые автоматы, системы оповещения и рекламы, и т.д.

Коммуникационные возможности платформы Ivy Bridge (см. рис. 2) также улучшены по сравнению с Sandy Bridge. На уровне процессора реализована поддержка до 16 линий PCI Express (PCIe) 3.0 – эта технология обеспечивает вдвое большую пропускную способность по сравнению с PCIe 2.0, позволяя использовать в составе решений современные видеоплаты класса high-end и задействовать высокоскоростные интерфейсы для внешних коммуникаций (в том числе, 10 GbE и 40 GbE). Отметим, что наличие одного из наборов ИС Intel седьмой серии расширяет функциональность систем на основе процессоров Ivy Bridge, добавляя возможность подключения до трёх независимых цифровых дисплеев с интерфейсами HDMI, DVI, DisplayPort и т.д., а также поддержку высокоскоростной внешней шины USB 3.0.

Встроенный контроллер памяти третьего поколения Intel Core стандартно поддерживает спецификацию DDR3-1600 (для Sandy Bridge, в большинстве случаев, DDR3-1333 или ниже). Он также может работать с устройствами DDR3L с пониженным напряжением питания (1,35 В против 1,5 В у обычных устройств DDR3), что может оказаться полезным – наряду с конфигурируемым тепловым пакетом (TDP) и прочими энергосберегающими функциями процессоров Ivy Bridge – при создании систем для мобильных приложений.

Суммируя сказанное, следует отметить, что рынки встраиваемых компьютерных технологий не препятствуют раскрытию потенциала применения систем на основе процессоров третьего поколения Intel Core. Поэтому энтузиазм, с которым ведущие производители приступили к пополнению своих продуктовых линеек изделиями на основе Ivy Bridge, вполне объясним.

Познакомимся ближе с некоторыми из этих продуктов.

## АРХИТЕКТУРА VPX

Системная архитектура VPX, возможно, является одной из лучших платформ для создания защищённых мультипроцессорных комплексов на базе x86-совместимых процессоров, в том числе, ориентированных на ответственные приложения. Это подтверждают успехи VPX-решений с процессорами Sandy Bridge в некоторых сегментах рынка систем для оборонных и аэрокосмических приложений. Перед поколением процессоров Ivy Bridge стоит задача закрепить успехи, достигнутые предшественниками, и по возможности развить их.

Важная роль в решении этой задачи принадлежит партнёрам Intel – ведущим производителям аппаратных средств для встраиваемых систем, одним из которых является компания Kontron. Для VPX-систем, выполненных в форм-факторе 3U, Kontron предлагает модули VX3042 (в стандартном варианте – на основе двухъядерного Intel Core i7-3517UE с тактовой частотой 1,7 ГГц) и VX3044 (с четырёхъядерным Intel Core i7-3612QE/2,1 ГГц). Первый предназначен, главным образом, для консолей и защищённых серверов, ориентированных на жёсткие эксплуатационные условия. Второй ориентирован на высокопроизводительные вычислительные кластеры.

Оба продукта соответствуют стандартам OpenVPX (VITA 65) и VPX REDI (VITA 48) и доступны заказчикам в трёх вариантах исполнения, в зависимости от температурных условий эксплуатации и используемых систем охлаждения. Платы поддерживают внутрисистемные коммуникации с использованием шин PCIe 3.0 и 10 GbE, а также фирменную технологию Kontron под названием VXFabric, обеспечивающую передачу данных по протоколу IP по каналам PCIe.

Типичным представителем VPX-платформ форм-фактора 6U можно считать плату SBC625 компании GE Intelligent Platforms (подразделение General Electric). Этот продукт отвечает требованиям стандарта OpenVPX и предлагается в пяти вариантах исполнения для различных температурных диапазонов; три из них предназначены для систем с воздушным охлаждением, два поддерживают кондуктивное охлаждение.

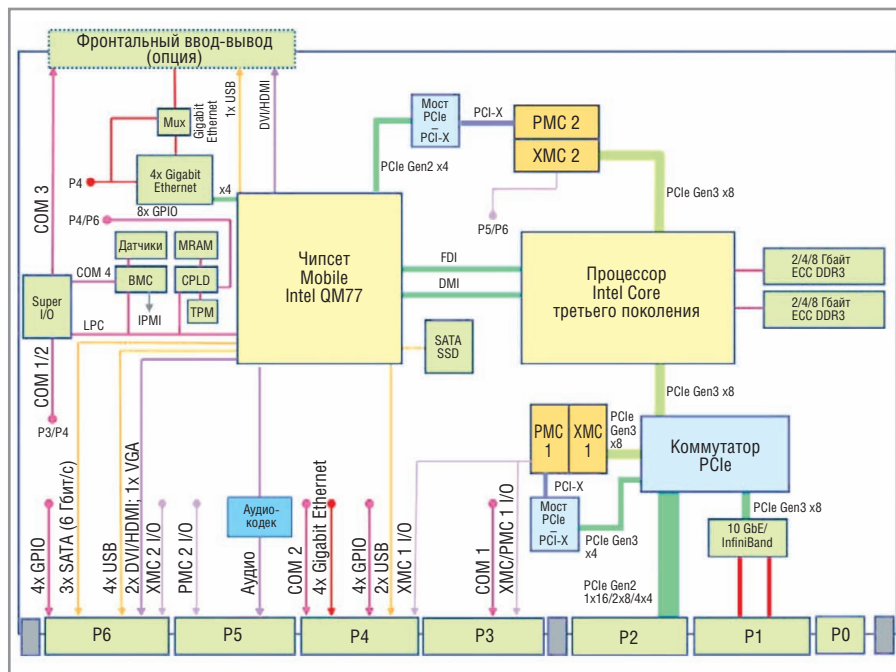


Рис. 3. Функциональная схема VPX-платы SBC625 компании GE Intelligent Platforms

Аналогично рассмотренным выше процессорным модулям Kontron, данный продукт также выполнен на основе набора ИС Mobile Intel QM77. Процессор устанавливается по выбору заказчика. В списке базовых конфигураций присутствуют Intel Core i7-3517UE, двухъядерный Intel Core i7-3555LE (2,5 ГГц) и четырёхъядерный Intel Core i7-3615QE (2,3 ГГц). Для внутрисистемных коммуникаций могут использоваться интерфейсы PCIe, 10 GbE и InfiniBand (см. рис. 3). Фронтальный вывод разъемов дисплейного, сетевого (Gigabit Ethernet) и стандартного последовательного интерфейсов, а также USB предлагаются по заказу.

В качестве основных программных платформ для всех трёх рассмотренных продуктов Kontron и GE Intelligent Platforms выступают ОС Windows, Linux и VxWorks.

## COM EXPRESS: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МИНИАТЮРЕ

Как и ожидалось, ведущие производители продуктов на основе методологии COM (Computer-On-Module) оперативно выпустили на рынок соответствующие изделия. Так, компания Kontron, являющаяся родоначальником данного стандарта, представила две новые серии модулей COM Express форм-фактора basic на основе процессоров Ivy Bridge – COMe bIP2 (с расположением выводов Type 2) и COMe bIP6 (Type 6).

Модели этих серий различаются используемым процессором. Это может

быть двух- или четырёхъядерный процессор семейства Intel Core i3-3000, Intel Core i5-3000 или Core Intel i7-3000 (в модификации для встраиваемых мобильных приложений) с тактовой частотой от 1,6 до 2,7 ГГц и тепловым пакетом от 17 до 45 Вт.

Все модули COMe bIP2 и COMe bIP6 поддерживают три интерфейса DisplayPort (с помощью переходников можно использовать дисплеи DVI и HDMI), в том числе – один eDP (вариант DisplayPort для встраиваемых приложений). При необходимости для вывода видеопотока можно задействовать порт SDVO, двухканальный интерфейс LVDS или аналоговый интерфейс с разрешением до 2048 × 1536.

Возможности работы представленных модулей с дисковыми накопителями включают поддержку двух SATA-устройств третьего поколения (пропускная способность шины – 6 Гбит/с) и двух SATAII (3 Гбит/с). Модули с разъемом Type 2 позволяют использовать один дисковый накопитель с PATA-интерфейсом.

От типа модуля зависят варианты поддержки интерфейсов PCI, PCIe и USB. Так, модули Type 2 позволяют использовать восемь портов USB 2.0, графический порт PCIe x16, пять линий PCIe x1 и параллельную шину PCI версии 2.3 (33 МГц). У модулей Type 6 имеются четыре порта USB 3.0, а количество внешних линий PCIe x1 равно семи (см. рис. 4). Присутствует поддержка подключений по шине PCIe x16, а возможность использования параллель-

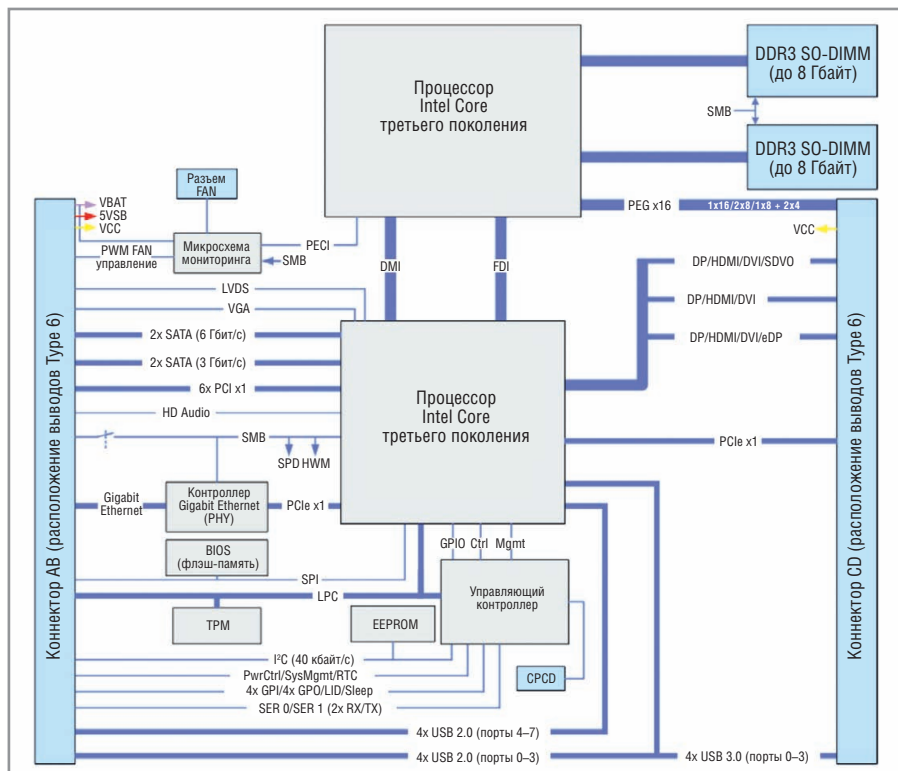


Рис. 4. Функциональная схема модуля COM Express серии Kontron COMe-BIP6 (с расположением выводов Type 6), выполненного на базе процессора Intel Core третьего поколения

ного интерфейса PCI не предусмотрено.

Коммуникационная подсистема у модулей обоих типов включает интерфейс Gigabit Ethernet. Отметим также наличие интегрированного криптопроцессора, выполненного в соответствии со спецификацией TPM (Trus-

ted Platform Module) версии 1.2, поддержку технологии ACPI 3.0 (реализует механизмы конфигурирования и управления питанием средствами ОС) и использование твердотельных конденсаторов с танталовым анодом, обладающих повышенной надёжностью.

Программная поддержка продуктов серий COMe BIP2 и COMe BIP6 включает пакеты BSP (Board Support Package) для ОС семейства Windows, а также Linux и VxWorks. Основными вариантами применения рассматриваемых модулей COM Express являются медицинские приборы, цифровые системы оповещения и рекламы, автоматизация розничной торговли, а также приложения класса M2M (Machine-To-Machine) в оборонной и аэрокосмической сферах.

### СомрастPCI: логичный подход к развитию

Среди новых процессорных плат CompactPCI форм-фактора 3U отметим плату Kontron CP3003-SA (см. рис. 5). Базовые варианты конфигурации этого продукта включают процессор Intel Core i7-3517UE, Intel Core i7-3555LE или Intel Core i7-3612QE. Плата CP3003-SA выполнена на основе набора ИС Mobile Intel QM77 и предлагается с одним (типоразмер 4HP) и двумя (8HP) разъёмами. Последний вариант предполагает использование одного из двух предлагаемых вариантов модуля расширения – CP3003-HDD или CP3003-XMC и, соответственно, обеспечивает поддержку флэш-карт CFast и 2,5-дюймовых накопителей или представляет собой плату-носитель, к которой могут подключаться платы расширения XMC.

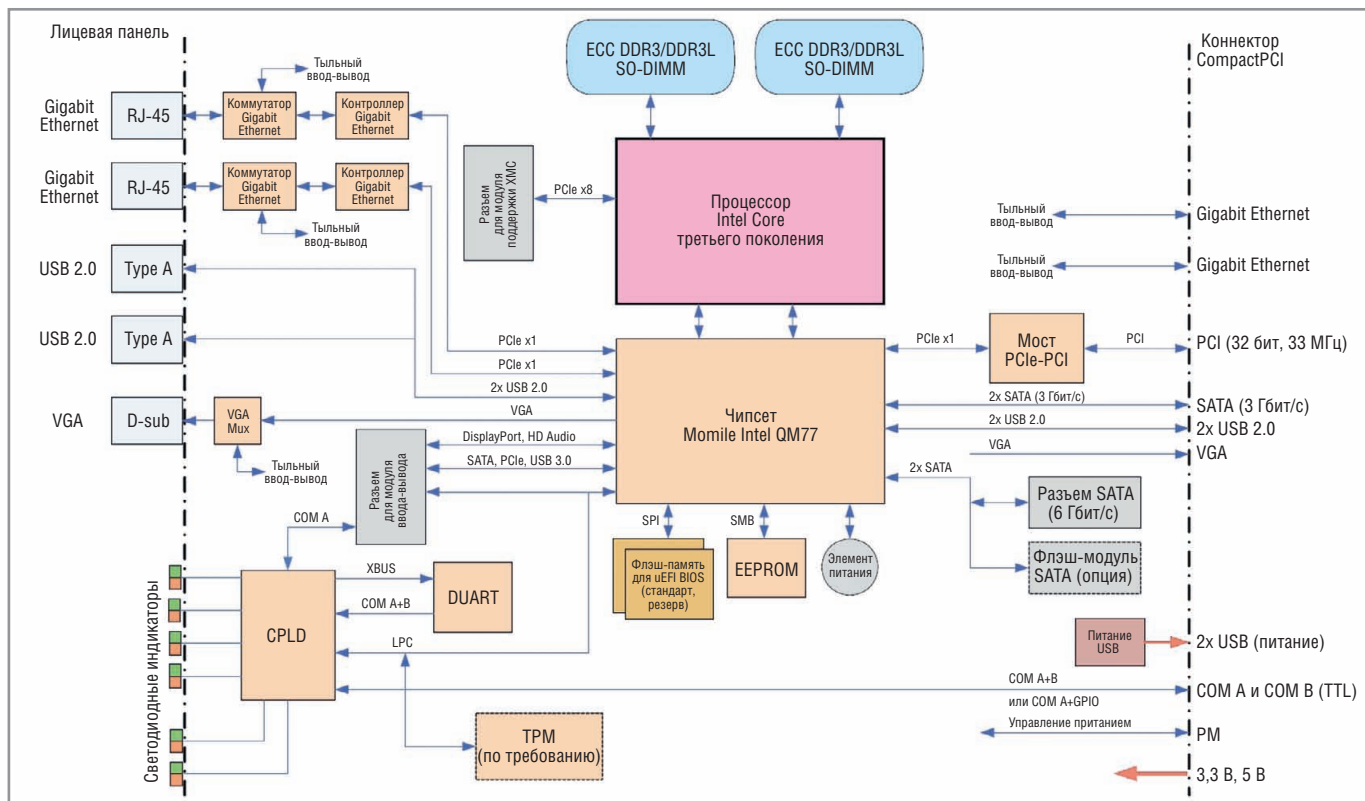


Рис. 5. Функциональная схема CompactPCI-платы Kontron CP3003-SA

Плата CP3003-SA может устанавливаться как в системный, так и в периферийный разъем. В первом случае используется 32-битный интерфейс CompactPCI, работающий на частоте 33 МГц (по заказу – 66 МГц). При установке в периферийный разъем поддержка пассивного режима PCI обеспечивает изоляцию платы от шины CompactPCI.

Для систем CompactPCI форм-фактора 6U компания GE Intelligent Platforms предлагает процессорный модуль XCR15, во многом похожий по своим характеристикам на ранее упомянутый VPX-модуль SBC625 (те же процессоры в базовых конфигурациях, тот же набор ИС и пять вариантов системы охлаждения). Данный продукт соответствует стандарту PICMG 2.16, т.е. может применяться в составе систем CompactPCI на основе объединительных плат с коммутацией пакетов. В числе характеристик платы XCR15 отметим наличие интегрированного контроллера IPMI 2.0. Поддерживаются также различные варианты подключения мезонинов PMC и XMC.

Следует отметить, что для систем на основе близких магистрально-модульных стандартов (VPX, CompactPCI, VME) компания GE Intelligent Platforms предлагает процессорные платы на основе Ivy Bridge, схожие по своим характеристикам, базовым конфигурациям и вариантам исполнения. Логика в этом, безусловно, есть. Консерватизм заказчиков часто заключается в выборе используемых магистрально-модульных архитектур. Компания GE Intelligent Platforms не пытается оказать влияние на этот выбор, а предоставляет заказчику возможность получить решение, выполненное с использованием самых передовых технологий.

В качестве основных программных платформ для рассмотренных устройств Kontron и GE Intelligent Platforms фигурируют ОС семейства Windows, а также версии Linux и VxWorks. Адаптация систем QNX, LynxOS, RTX, Integrity и др. для решений на платформе Intel Core третьего поколения – вопрос непродолжительного времени.

## Плоды долгосрочной стратегии

Собственная разработка материнских плат для встраиваемых систем, включающая тщательный отбор компонентов и обширную программу испытаний, относится к числу долго-

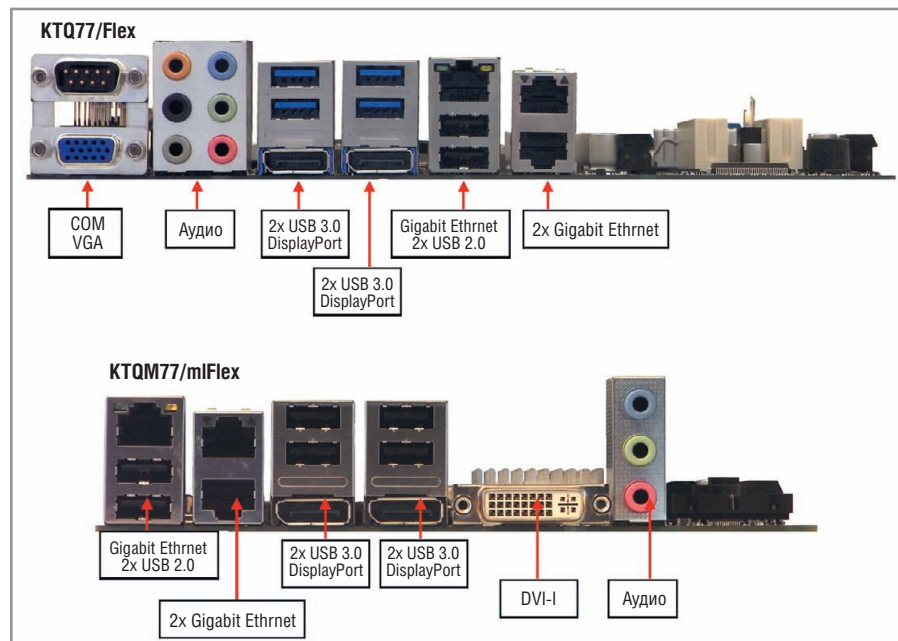


Рис. 6. Расположение тыловых разъемов ввода-вывода на материнских платах Kontron KTQ77/Flex (вверху) и KTQM77/mITX

срочных стратегических приоритетов компании Kontron и других ведущих производителей. Материнская плата Kontron KTQ77/Flex форм-фактора FlexATX, предназначенная для систем на основе двух- и четырехъядерных процессоров третьего поколения Intel Core, имеет жизненный цикл семь лет.

Плата выполнена на основе набора ИС Intel Q77, а её возможности по подключению плат расширения включают два разъема PCIe x16 (один – для устройств PCIe 3.0, другой поддерживает спецификации PCIe второго поколения и работает в режиме x4), два разъема PCI (32 бит, 33 МГц) и один разъем Mini PCIe. Для подключения накопителей могут использоваться шесть разъемов SATA и один mSATA. Поддерживаются RAID-массивы уровней 0, 1, 5 и 1+0. Внешние подключения обеспечивают четыре разъема USB 3.0, два – USB 2.0 (при необходимости их количество может быть увеличено до десяти), три – Gigabit Ethernet (RJ-45), два – DisplayPort, по одному – RS-232 (DB9) и VGA. По заказу возможна установка криптопроцессора TPM 1.2.

Ещё одна материнская плата Kontron для систем на основе процессоров Ivy Bridge, также относящаяся к продуктам с жизненным циклом в семь лет, называется KTQM77/mITX. Данное устройство выполнено в форм-факторе Mini-ITX на основе набора ИС Mobile Intel QM77 и несколько отличается от KTQ77/Flex по возможностям использования плат расширения и подключения внешних устройств (см. рис. 6).

Так, разъем PCIe x16 с поддержкой PCIe 3.0 на плате KTQM77/mITX соседствует с разъемом PCIe x1 для устройств PCIe второго поколения, установка устройств с параллельным интерфейсом PCI не предусмотрена, а два разъема Mini PCIe располагаются с обратной стороны платы. Для подключения мониторов могут быть задействованы два разъема DisplayPort и один DVI. В то же время возможности использования USB-устройств, SATA-накопителей (включая поддержку RAID) и сетевые подключения у KTQM77/mITX полностью аналогичны KTQ77/Flex. И при необходимости также может быть реализован вариант с модулем шифрования данных, соответствующим спецификации TPM 1.2.

Программные платформы, для работы с которыми оптимизированы платы KTQ77/Flex и KTQM77/mITX, традиционно включают ОС семейства Windows, а также Linux и VxWorks. Однако в данном случае оговорена поддержка некоторых конкретных версий Linux, в частности, Red Hat Enterprise Linux, SUSE Linux Enterprise, Red Flag Linux и Wind River Linux. Целевыми рынками для материнских плат Kontron с поддержкой процессоров Ivy Bridge являются медицинское оборудование для компьютерной диагностики, игровые автоматы и цифровые системы оповещения и рекламы, а также решения в области автоматизации, предназначенные для розничной торговли, промышленности и оборонной отрасли.

## ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА

Даже бегло просмотрев характеристики продуктов на базе процессоров третьего поколения Intel Core, нетрудно убедиться, что практически для всех реализована программная поддержка популярных ОС, в том числе встраиваемых ОС Windows и Linux, а для некоторых – и разнообразных ОС реально-го времени. Как правило, речь идёт о поддержке на уровне драйверов и BIOS, иногда – служебных программ и т.п.

Вопрос об оптимизации ПО для платформы Ivy Bridge стоит менее остро, чем для Sandy Bridge. Причина в том, что на уровне микроархитектуры эти процессоры мало отличаются друг от друга. По сути для многих приложений оптимизация для новых процессоров не обязательна. Да, в третьем поколении Intel Core добавилось несколько инструкций AVX. По сравнению с первоначальной реализацией данной технологии в микроархитектуре Sandy Bridge, сделанный шаг вперёд позитивен, но не столь велик. Революционным изменением, возможно, станет технология AVX2, поддержка которой должна появиться в процессорах на основе микроархитектуры следующего поколения (Haswell).

В процессорах Ivy Bridge появились новые функции обеспечения безопас-

ности – Intel Secure Key (включает цифровой генератор случайных чисел, используемый для усиления криптографических алгоритмов) и Intel OS Guard (обеспечивает механизм блокировки вмешательства со стороны приложений пользователя при работе системы на максимальном уровне привилегий). Неслучайно среди разработчиков ПО для встраиваемых решений, отреагировавших на премьеру Ivy Bridge, наиболее заметным стала компания LynxWorks, объявившая о выходе оптимизированного для представленной платформы варианта пакета безопасной виртуализации LynxSecure.

Отметим, что и для второго поколения Intel Core многие специалисты не считали программную поддержку вопросом первостепенной важности, и подобная точка зрения не лишена оснований. Отметим лишь, что программная поддержка Ivy Bridge как минимум не хуже Sandy Bridge.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вытеснение узкоспециализированных решений технологиями массового применения для потребительского и корпоративного рынков постепенно превратилось в одну из важнейших тенденций рынка встраиваемых систем. Аккумулируя наибольший объём инвестиций и воплощаясь в продуктах

категории COTS (Commercial Off-The-Shelf), эти технологии не только обеспечивают возросшие показатели вычислительной производительности и энергоэффективности, но и позволяют сокращать циклы разработки встраиваемых решений и снижать их стоимость.

Исходя из этого, платформа Ivy Bridge представляется логичным выбором для приложений, ориентированных на различные вертикальные рынки, в том числе те, где архитектура IA ранее не применялась. Процессоры третьего поколения Intel Core совмещают архитектурные достоинства Sandy Bridge с преимуществами перехода на более совершенный технологический техпроцесс, что расширяет возможности приложений.

Неминуемость прихода третьего поколения Intel Core на смену второму не вызвала абсолютно никаких сомнений, и на текущий момент верх совершенства процессорных технологий Intel, доступных разработчикам встраиваемых решений, олицетворяет собой именно продуктовая линейка Ivy Bridge. Впрочем, закон Мура неумолим, и поэтому через какое-то время ситуация в очередной раз изменится – когда придёт черед дебютировать на рынке процессорам следующего поколения на основе микроархитектуры Haswell. ☺

## Новости мира News of the World Новости мира

### СНК от Maxim для интеллектуальных счётчиков объединяет метрологию, безопасность и связь

Компания Maxim Integrated Products представляет Zeus – законченную систему на кристалле (СНК) для интеллектуальных счётчиков. Она объединяет уникальную технологию высокоточной метрологии, множество уровней безопасности и существенные вычислительные ресурсы для современных передовых протоколов обмена данными.

Задача обеспечения безопасности является первоочередной для защиты от хищений электроэнергии и кибер-атак на электросети. Zeus обеспечивает производителей счётчиков платформой с целью разработки решений для различных конечных рынков, поддерживая широкий спектр требований по безопасности и коммуникации. Встроенный криптографический модуль защищает обмен данными, защищённая загрузка ПО предот-

вращает его неавторизованную модификацию, а выявление вторжения гарантирует идентификацию, запись и сообщение о любой попытке физической атаки на счётчик.

Ключевые преимущества Zeus:

- прецизионная точность измерений: скорость преобразования каждого канала АЦП составляет 10 000 выб./с с точностью 0,1% в динамическом диапазоне 5000 : 1;
- соответствие перспективным задачам: процессор 120 МГц ARM® Cortex M3 для пользовательских приложений и 40-МГц 32-разрядный микроконтроллер MAXQ30 с DSP для измерительных функций;
- многоядерная архитектура поддерживает разделение нормативно регламентированных и нерегламентированных функций для упрощения сертификации (согласно WELMEC).

Платформа Zeus включает приборы MAX71616, MAX71617, MAX71636 и MAX71637.

[www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com)

### Понижающий преобразователь для систем освещения

Элемент A6211 фирмы Allegro Microsystems является понижающим импульсным стабилизатором для питания мощных светодиодов постоянным током до 3 А. Преобразователь предназначен для систем освещения в потребительской электронике и промышленности, а также как замена ламп MR16 или осветителей в сканерах и многофункциональных принтерах. Он располагает функциями защиты от коротких замыканий между выводами и во внешних компонентах.

Элемент имеет диапазон напряжения питания 6...48 В и включает в себя n-канальный МОП-транзистор для понижающего DC/DC-преобразования. A6211GLJTR-T расположен в корпусе SOIC с восемью выводами с открытыми площадками для оптимизации теплоотвода. Элемент соответствует требованиям RoHS.

[www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



ВЗРАЩИВАЯ  
ТЕХНОЛОГИИ



В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО  
ФОРУМА ЭЛЕКТРОННОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ



11-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ  
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**10-12**  
**АПРЕЛЯ 2013**  
МОСКВА,  
КРОКУС ЭКСПО

ОРГАНИЗАТОРЫ:



primexpo



ITE GROUP PLC



ufi



CPPI

ПРИ УЧАСТИИ:



ЭЛИНТ СП  
Электронтехэкспо СП

Т. (812) 380 6003/07/00, Ф. (812) 380 6001, ELECTRON@PRIMEXPO.RU

Реклама

# Сильноточные проходные разъёмы и клеммы

Андрей Икрин (Москва)

В статье представлены изделия ведущего немецкого производителя соединителей для подключения кабелей питания. Линейка проходных разъёмов и клемм COMBICON power ориентирована, в первую очередь, на силовую аппаратуру: блоки питания, частотные преобразователи и инверторы.

Производители различной силовой электроники, электроприводов, блоков питания, частотных преобразователей, фильтров, инверторов, устройств распределения энергии и т.п. должны обеспечить безопасный ввод или вывод кабеля питания через стенку корпуса промышленного оборудования. Эта задача может быть решена с помощью специальных проходных разъёмов или клемм.

## Каковы требования?

Выбор правильного решения не всегда является простым. На рынке предлагаются самые разные проходные клеммы, и производители устройств должны знать, что они хотят получить в процессе проектирования,

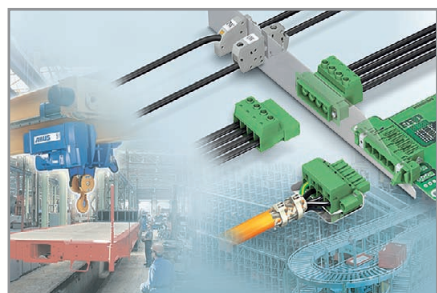


Рис. 1. Проходные разъёмы и проходные клеммы для фиксированного соединения – правильное решение для любой области применения

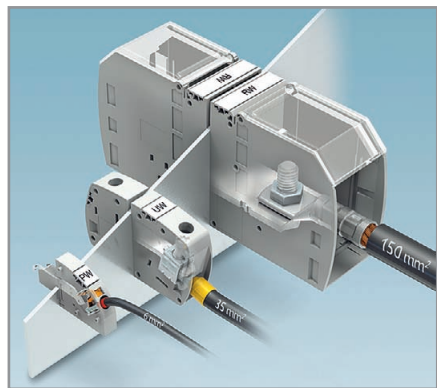


Рис. 2. Разработчик устройства всегда может выбрать необходимую технологию соединения в соответствии с применением – Push-In, винтовые и болтовые зажимы

какой тип соединения предпочтительнее, каково будет сечение подключаемых проводников и какие технические характеристики будут у изделия.

Если поискать соединители для силовых цепей и больших сечений проводников, мы обнаружим, что рынок мало что предлагает в данный момент. Некоторые производители разрабатывают индивидуальные решения по запросу. Однако это не решает все проблемы, например, могут быть не учтены требования по защите от касания к токоведущим частям клеммы. Другой проблемой для производителей оборудования является получение сертификата электробезопасности. Если устройство будет использоваться во всём мире, требуются сертификаты IEC 61800-5-1 и UL 1059. Однако многие проходные соединители, имеющиеся на рынке, не сертифицированы должным образом.

Компания Phoenix Contact предлагает широкий ассортимент проходных соединителей для различного применения, в том числе для больших токов (до 309 А). Ассортимент включает как проходные разъёмы, так и жёстко фиксируемые на стенке корпуса проходные клеммы. Подключаемые проходные разъёмы позволяют проводить быструю замену оборудования для ремонта, а также удобнее в монтаже (см. рис. 1). Кроме того, кабели питания могут быть заранее собраны в производственных условиях. Тем не менее, проходные клеммы для фиксированного соединения являются более экономичным решением.

## Проходные клеммы для фиксированного соединения кабеля

Компания Phoenix Contact производит проходные клеммы на протяжении почти трёх десятилетий. Сегодня она предлагает большую номенклатуру проходных клемм в современном и компактном исполнении. Производители устройств могут выбрать тип подключения

проводников в соответствии с применением: пружинный зажим Push-In, обычный винтовой зажим или болтовое соединение для кольцевых или вилочных наконечников (см. рис. 2). Сечение подключаемых проводников варьируется от 0,2 до 150 мм<sup>2</sup>, а токовая нагрузка на контакт составляет 20...309 А.

Проходные клеммы с фиксированным соединением существуют в стандартном исполнении и под заливку компаундом с внутренней стороны блока, а также с горизонтальным либо вертикальным направлением подключения проводника. Версия под заливку компаундом обеспечивает высокую степень защиты от внешних воздействий, даже если для герметизации используется небольшое количество компаунда. Номенклатура проходных клемм под различное сечение проводников имеет несколько вариантов по направлению подключения для каждого типа. Это означает, что производители оборудования могут выбрать тип соединения, направление подключения и поперечное сечение подключаемых проводников.

Блоки проходных клемм устанавливаются в вырез в стенке блока, без использования инструментов. Дополнительные варианты фиксации клеммной сборки доступны для тех устройств, где предполагаются высокие механические нагрузки на кабель. Например, винты или заклёпки могут быть использованы для крепления с внутренней стороны корпуса. Если нет достаточного внутреннего пространства, то фланцы могут быть закреплены с внешней стороны корпуса. Использование дополнительных вариантов монтажа обеспечивает высокий уровень механической прочности.

Благодаря специальным штыревым выступам на клемме, одиночные проходные клеммы могут быть собраны в единый блок. Если же предполагается одиночное использование проходных клемм, то для заказа доступны версии с гладкими боковыми стенками или фланцами.

В дополнение к европейским сертификатам CE, клеммы имеют сертификат соответствия UL 1059. Таким образом, у конечных производителей оборудования не возникает проблем с сертификацией готового изделия для продажи по всему миру.

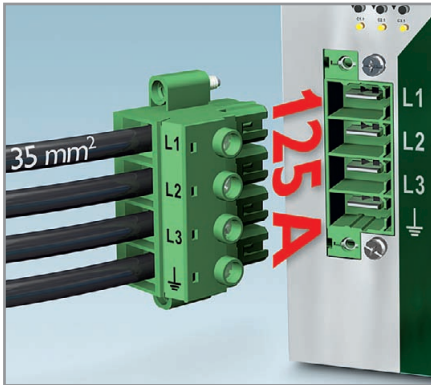


Рис. 3. Серия проходных разъемов PC 35 может проводить ток до 125 А

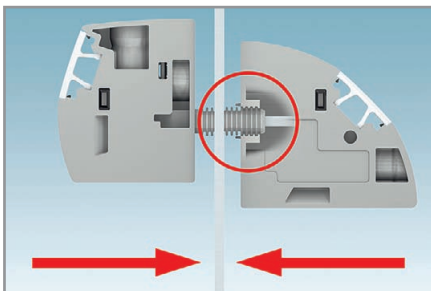


Рис. 4. Простота установки – залог надёжного крепления

## СИЛЬНОТОЧНЫЕ ПРОХОДНЫЕ РАЗЪЕМЫ

Проходные разъемы состоят из блочной и кабельной части. Блочная часть может иметь выводы для пайки непосредственно в отверстия печатной платы либо может быть смонтирована на кабель для создания проходного соединения типа «кабель–кабель». Проходные разъемы предназначены для проводников сечением от 0,2 до 35 мм<sup>2</sup> и обеспечивают токовую нагрузку на контакт от 16 до 125 А (см. рис. 3). Проходные разъемы могут поставляться как с традиционным винтовым зажимом, так и с пружинным Push-In-соединением. Разъемы могут быть надёжно закреплены на стенке блока с помощью винтов или специальных фланцевых креплений.

Кабельные разъемы при необходимости могут иметь специальную экранирующую металлическую пластину, которая, помимо экранирования, решает задачу надёжного крепления кабеля к разъёму при высоких механических нагрузках. Металлическая пластина через крепёжные фланцы соединяется со стенкой корпуса, тем самым обеспечивая надёжное заземление внешнего экрана силового кабеля. Инвертированные разъемы, предназначенные для вывода питания из корпуса, дополняют ассортимент выпускаемой продукции. Эти разъемы защищены от касаний, что

обеспечивает безопасный вывод питания из устройства.

Все гнездовые контакты проходных разъемов COMBICON power для токов от 16 А и выше оснащены дополнительной стальной пружиной для гарантии стабильного контакта при высоких токовых нагрузках, поэтому контактное сопротивление остаётся стабильным даже при больших колебаниях температуры и вибрации. При этом усилие сочленения остаётся оптимальным. Кривые нагрузочной способности, приведённые в технической документации на разъём, могут быть использованы для определения наиболее подходящего разъёма. Диаграммы показывают зависимость максимального тока от температуры окружающей среды, количества контактов и сечения проводника.

Проходные разъемы имеют необходимые сертификаты UL 1059 и IEC в категории до 1000 В. Новый тип фиксации разъемов серии PC 5 не только экономит время при монтаже, но и повышает безопасность. Серия PC 5 получила сертификат соответствия от VDE в соответствии со стандартом DIN EN 50155.

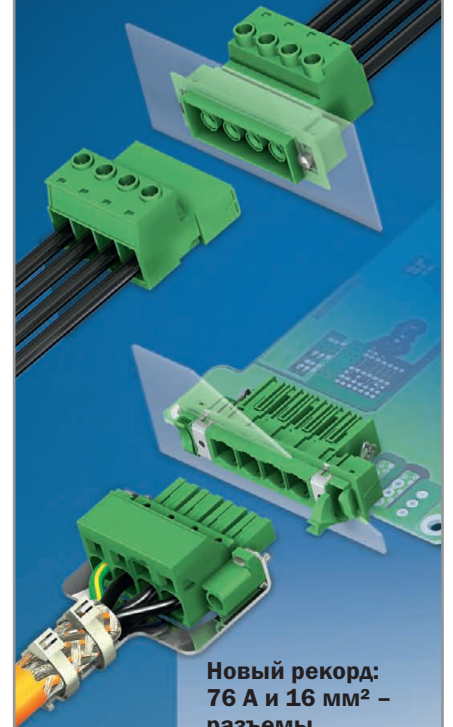
## ПРАВИЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЛЮБОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Поиск подходящих проходных клемм зависит не только от сечения используемых проводов и номинального тока. При выборе клеммы должны учитываться габариты, технические характеристики и сертификаты. После этого производитель сможет найти оптимальное проходное соединение для своего устройства.

Проходная наборная клемма с фиксированным соединением использует принцип безопасной установки. Клеммы состоят из внутренней и внешней частей. Обе части крепятся друг к другу через стенку блока (см. рис. 4); система фиксации обеспечивает надёжное крепление клеммы вне зависимости от толщины стенки блока. Важной особенностью таких клемм является установка без использования инструментов.

Клеммы также могут быть привинчены или приклепаны с внутренней стороны корпуса. Если не хватает места внутри корпуса, клеммы могут быть привинчены к стенке корпуса снаружи с помощью дополнительных боковых фланцев. Несколько клемм могут быть подключены друг к другу путём сцепления контактов на внешней стенке. Формирование блоков клемм повышает стабильность соединений.

## СИЛЬНОТОЧНЫЕ РАЗЪЕМЫ PC 16



### Новый рекорд: 76 А и 16 мм<sup>2</sup> – разъемы с пружинным или винтовым зажимом

Серия разъемов PC 16 имеет не только высокую нагрузочную способность по току – 76 А, но также огромный выбор различных соединений для печатных плат и кабелей питания. Вне зависимости от того, какой тип соединения Вас интересует: винтовой или пружинный зажим, соединение «плата-плата», «кабель-плата» или «кабель-кабель», Вы всегда можете найти подходящее решение для любой задачи в линейке разъемов PC 16. С помощью проходных разъемов DFK-PC 16 и DFK-IPC 16 можно легко реализовать ввод или вывод питания из устройства, при этом сам разъем надёжно фиксируется на стенке блока с помощью фланцев без специального инструмента. COMBICON power – надёжное соединение для силовой электроники.

000 «Феникс Контакт РУС»  
119619, Москва,  
Проектируемый проезд  
5167, д. 9, стр. 1  
Тел.: +7 (495) 933-8548  
Факс: +7 (495) 931-9722  
Info@phoenixcontact.ru  
www.phoenixcontact.ru



Реклама

# Многофункциональный встраиваемый контроллер

## Часть 1

**Александр Елисеев (г. Вильнюс, Литва)**

В статье рассматривается контроллер «M2M ассистент», созданный на основе платы ARMGeoSpyder3. Контроллер выполняет ряд функций, необходимость в которых возникает при разработке систем удалённого мониторинга и управления через Интернет. Описаны архитектура программного обеспечения контроллера и взаимодействие с внешними устройствами и службами.

### ВВЕДЕНИЕ

Устройство «M2M ассистент» (см. рис. 1) разработано для демонстрации возможностей платы ARMGeoSpyder3.1 (см. рис. 2). Подробное описание платы приведено в [1]. Плата оснащена набором интерфейсов, позволяющим реализовать типовые функции в сфере удалённого мониторинга и управления (M2M) и локальных применений. Контроллер «M2M ассистент» можно рассматривать как основу для различных приложений, где компактность кода, небольшое число параметров и удобный доступ к настройкам (см. рис. 3) сокращают время освоения.



Рис. 1. Сборка «M2M ассистент» без корпуса

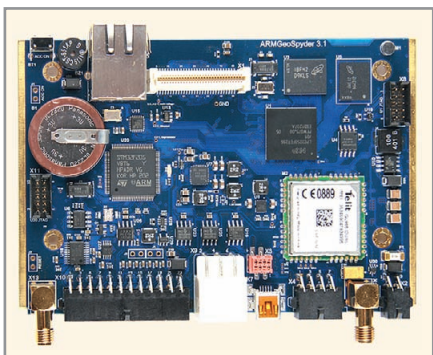


Рис. 2. Плата ARMGeoSpyder 3.1

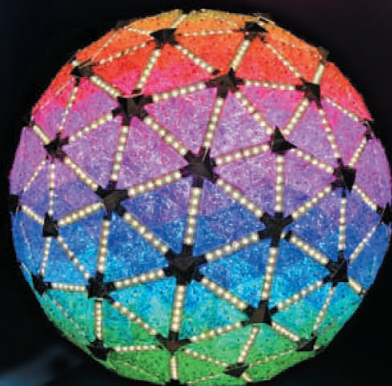
Важным достоинством контроллера «M2M ассистент» является возможность полной смены программного обеспечения через Интернет по беспроводному каналу связи.

На данный момент «M2M ассистент» уже применяется в различном оборудовании, промышленных механизмах и установках, например, в блоках управления механизмами ангарных ворот (см. рис. 4). Промышленные ангарные ворота имеют в длину несколько десятков метров, приводятся в движение синхронной работой нескольких двигателей и снабжены десятками датчиков, предотвращающих аварийные ситуации и предупреждающих о необходимости технического обслуживания приводов и тяговых элементов. Минимизировать риски аварий и отказов таких ответственных объектов, как ангарные ворота аэропортов, позволяет «M2M ассистент», который может посылать речевые сообщения о нежелательных изменениях в работе механизмов, отображать на дисплее позицию датчиков, делать записи в журнал событий для прогнозирования износа и т.д.

Ниже представлен список функциональных возможностей контроллера «M2M ассистент»:

- повышенная надёжность функционирования за счёт встроенного контроля;
- возможность работы от аккумулятора с интеллектуальным зарядным устройством, гибким управлением потреблением и экономичным режимом сна;
- одновременная работа в сети Интернет через проводной и беспроводной интерфейсы, маршрутизация между интерфейсами;

- организация виртуальных каналов для обеспечения защищённой связи через Интернет;
- встроенный web-сервер с технологией CGI и SSI и защитой по спецификации SSL;
- встроенные FTP-сервер и клиент;
- встроенный DNS-клиент;
- встроенный клиент точного времени (протокол SNTP);
- встроенный почтовый клиент (протокол SNMP);
- встроенный агент SNMPv2, отвечающий спецификациям RFC1213 и RFC1471–RFC1473;
- встроенный сервер NAT;
- шлюз к внешним устройствам через простой протокол M2M с возможностью перепрограммирования внешних устройств;
- шлюз к облакам Google через механизм Google Fusion Tables;
- командно-диагностический интерфейс, работающий по протоколам VT100 и Telnet;
- работа в качестве прозрачного ретранслятора между удалённым клиентом Telnet и собственными портами RS-232;
- работа в режиме прозрачного доступа к встроенному модему GSM;
- унифицированное редактирование всех параметров по SMS или по TCP;
- возможность автоматической проверки наличия обновления собственного ПО и скачивания с удалённых серверов в Интернет;
- расширенная функция Over-the-air programming (OTA), когда перепрограммируется не только само устройство, но и все присоединённые к нему по локальной сети внешние устройства;
- менеджер команд и событий по TCP, SMS или звуковому каналу GSM;
- проигрыватель звуковых файлов как в GSM-канал, так и на внешние громкоговорители;
- конфигурируемый голосовой оповещатель;
- три независимых телеметрических регистратора внешних и внутрен-



## Мощные светодиоды LUXEON



### Luxeon Rebel General Purpose White (GPW)

Серия мощных светодиодов для применения в светотехнических приборах:

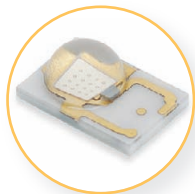
- высокий световой поток
- все оттенки белого цвета
- высокая надежность



### Luxeon Rebel Illumination

Серия мощных светодиодов для применения в осветительных приборах и системах освещения:

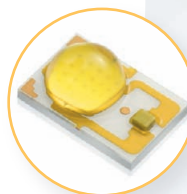
- высокий световой поток
- оптимальные для освещения области белого цвета
- оптимизированный индекс цветопередачи для разных областей белого цвета
- высокая надежность



### Luxeon Rebel Direct Color

Серия мощных светодиодов различного цвета свечения – от красного до синего – для применения в архитектурно-художественном и декоративном освещении:

- высокий световой поток
- все цвета видимого спектра
- высокая надежность



### Luxeon Rebel ES

Серия мощных светодиодов для разработки светодиодных светильников и ламп. Рекомендуемый рабочий ток 700 мА:

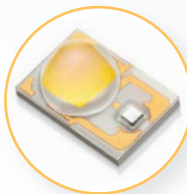
- высокий световой поток
- высокая эффективность
- высокая надежность



### Luxeon H

Новая серия мощных светодиодов для разработки светодиодных ламп:

- высокий световой поток
- стабильность цветовой температуры
- возможность питания переменным током
- хороший тепловой дизайн
- высокая надежность



### Luxeon A

Новая серия мощных светодиодов для применения в светотехнических приборах:

- высокий световой поток
- стабильность цветовой температуры
- отсутствие необходимости биннинга
- высокая надежность



Рис. 3. Дисплей пользовательского интерфейса «M2M ассистент»



Рис. 4. Блок управления воротами авиационного ангара с телеметрическим узлом на базе ARMGeoSpyder3

них сигналов и переменных с периодом выборки 1...10 000 с и возможностью записи на карту памяти microSD и передачи в Интернет;

- непрерывный регистратор сигналов в реальном времени с периодом выборки от 10 мс и сохранением данных в файлы размером до 2 Гб;
- регистратор координат, получаемых с модуля GPS/GLONASS/Galileo, с записью в файлы различных форматов и передачей в Интернет;
- настраиваемый графический интерфейс пользователя на базе 24-битного ЖК-дисплея с разрешением 320 × 240 пикселей;
- универсальный загрузчик образов Windows CE или Linux.

Данный перечень функций «M2M ассистент» не является полным и продолжает расширяться. Последние обновления бесплатно доступны на интернет-странице поддержки устройства.

### УСТАНОВКА, КОНФИГУРАЦИЯ И ОБНОВЛЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Программное обеспечение «M2M ассистент» записано в микросхему типа NAND Flash на плате ARMGeoSpyder3. Приложение полностью готово к работе менее чем через 1 с после подачи питания. Пользователь может выбрать для исполнения другой образ приложения, который находится на карте памяти microSD. Последняя содержит файловую систему FAT32 и все основные файлы с настройками, конфигурационные файлы приложений, файлы журналов, сценарии, папки web и FTP, исполняемые образы и др. Такое решение удобно для быстрой смены конфигурации и программного обес-

печения в приборе, которое может быть сведено к простой замене карты microSD.

На рисунке 5 приведена структура папок на карте microSD устройства. Файловая система «M2M ассистент» имеет разветвленную структуру; в Приложении 1 к статье ([www.soel.ru](http://www.soel.ru)) приведены её основные элементы и файлы.

Обновление ПО на плате ARMGeoSpyder3 заключается в замене файла BOOT.BIN с исполняемым образом на новую версию. Несмотря на большое количество функций контроллера, размер двоичного исполняемого образа программного обеспечения «M2M ассистент» составляет чуть больше 1 Мб в сжатом виде. При таком размере полное обновление ПО даже по каналу GPRS-связи не вызывает трудностей. Файл можно обновить несколькими способами:

- загрузить с помощью FTP-клиента, подсоединившись к FTP-серверу устройства;
- послать команду по SMS, чтобы устройство само подключилось к удалённому FTP-серверу и скачало файл;
- послать команду по протоколу TCP на скачивание файла с удалённого FTP-сервера;
- загрузить файл средствами web-браузера, создав специальную страницу для встроенного web-сервера;
- непосредственно переписать файл на карте microSD.

При скачивании файла через Интернет контроллер выберет один из действующих каналов: GPRS или Ethernet. Предпочтение будет отдано каналу Ethernet. Если для обновления файла используется встроенный в устройство FTP-сервер, то он одновременно доступен и через GPRS, и через Ethernet по номеру порта 21. Доступ к FTP лучше защитить, и тогда устройство можно сконфигурировать на организацию канала VPN, который, в свою очередь, организуется либо через Ethernet, либо через GPRS.

Файл BOOT.BIN может быть сжат несколькими алгоритмами. Тип сжатия файла система определяет автоматически при загрузке. Кроме того, файл может быть зашифрован алгоритмом AES с длиной ключа 256 бит. Целостность файла проверяется контрольной суммой MD5. В случае повреждения файла система его не загружает, и в работе остаётся первоначаль-

Name	Ext	Size	Date	Attr
[BOOTLOGS]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[FONTS]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[GFTDATA]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[GFTLOG]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[GPSDATA]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[HMI]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[M2M]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[SOUNDS]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[SSL]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[WEBPRIVDIR]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
[WEBPUBDIR]	<DIR>		03.04.2012 10:13	a-
APN	LST	165	23.01.2012 15:05	a-
BOOT	BIN	1 000 992	08.04.2012 14:17	a-
BOOTPARAMS	INI	16 022	06.04.2012 16:00	a-
CODEC	INI	273	23.01.2012 15:05	a-
GSM	json	3 188	23.01.2012 15:05	a-
ID	TXT	20	23.01.2012 15:05	a-
IOconf	json	5 132	23.01.2012 15:05	a-
SLOG	json	2 384	23.01.2012 15:05	a-

Рис. 5. Структура папок на карте памяти SD-платы ARMGeoSpyder3

ная версия «M2M ассистент», записанная в NAND Flash.

В контроллере предусмотрена возможность автоматической проверки на заданном FTP-сервере наличия файла BOOT.BIN. В устройстве задаются адрес FTP-сервера, режим доступа (активный или пассивный), параметры учётной записи, название файла и папки, в которой должен находиться файл.

Автоматическую загрузку файла BOOT.BIN можно запретить, изменив параметры в файле BOOTPARAMS.INI, который содержит все основные установки и параметры системы в текстовом формате <мнемоника переменной>=<значение> и комментарии, начинающиеся с символа <;>. Такое представление выбрано с целью упрощения редактирования файла. В случае утраты файла BOOTPARAMS.INI или его повреждения, система при загрузке создаст новую версию этого файла на карте microSD с установками по умолчанию. При включённом устройстве редактирование параметров в файле BOOTPARAMS.INI можно выполнить различными способами:

- через интерфейс RS-232 посредством терминальной программы по протоколу VT100;
- через Интернет или локальную сеть Ethernet по протоколу Telnet;
- через Интернет или локальную сеть Ethernet по протоколу HTTP с помощью встроенного web-сервера;
- через Интернет или локальную сеть Ethernet по протоколу FTP;
- через Интернет или локальную сеть Ethernet по протоколу SNMP;
- с мобильного устройства посредством SMS;
- с удалённого сервера посредством специального протокола.

По сути система не потеряет работоспособность, даже если карта microSD будет не заполнена, но при этом ряд служб не будет работать.

### ФОРМАТ ФАЙЛОВ КОНФИГУРАЦИИ JSON

При рассмотрении файловой системы «M2M ассистент» часто встречаются конфигурационные файлы с расширением JSON. Формат JSON широко применяется в интернет-технологиях и является стандартной нотацией описания объектов на языке JavaScript.

Формат JSON используют для обмена командами и данными многие известные интернет-службы, такие как облачные сервисы Google, сайты погоды, обмена файлами и т.п. Поскольку контроллер тесно взаимодействует с Интернетом, поддержка файлов JSON вполне логична. Однако удобство данного формата побудило использовать его и для хранения локальных настроек программного обеспечения. С помощью формата JSON можно описать сложные структуры данных, при этом такой формат легко воспринимается зрительно, в отличие, например, от формата XML, который был создан для аналогичных целей.

В качестве положительных особенностей формата JSON можно назвать:

- краткость и наглядность синтаксиса;
- лёгкость редактирования;
- поддержку кодировки UTF8;
- наличие доступных в Интернете в интерактивном режиме средств проверки синтаксиса;
- наличие открытых библиотек на разных языках программирования;
- глубокую интеграцию с технологиями Интернета.



## ГЕРМЕТИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

- Диапазон входного напряжения 90...305 В переменного тока
- Выходные мощности 50, 75, 100, 150 Вт
- Генераторы тока и напряжения
- Степень защиты IP67
- Диапазон рабочих температур -40...+60°C



Серия DLG



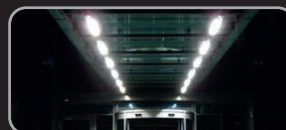
Уличное освещение



Рекламные вывески



Наружная подсветка



Освещение туннелей

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER



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



Реклама

В листинге 1 ниже приведён пример конфигурационного файла в формате JSON, встроенного в «M2M ассистент» сервера NAT, который осуществляет трансляцию пакетов интернет-протоколов из публичной сети во внутреннюю сеть в соответствии с правилами трансляции, указанными в файле.

**Листинг 1**

```
{
  "NATPMAP": [
    {
      // Первая запись трансляции
      "Protocol": "TCP",
      "IP": "192.168.1.31",
      "ExtPort": 81,
      "IntPort": 80
    },
    {
      // Вторая запись трансляции
      "Protocol": "TCP",
      "IP": "192.168.1.32",
      "ExtPort": 82,
      "IntPort": 80
    },
    {
      // Третья запись трансляции
      "Protocol": "TCP",
      "IP": "192.168.1.33",
      "ExtPort": 83,
      "IntPort": 80
    }
  ]
}
```

В данном примере представлено описание массива NATPMAP, содержащего три объекта. Объекты массива своих имён не имеют, доступ к ним осуществляется по индексу. Каждый объект массива здесь содержит четыре пары ключ/значение. Ключ Protocol может применяться со значениями TCP, UDP, ICMP. Ключу IP соответствует запись IP-адреса во внутренней сети, на который будет перенаправлен пакет, пришедший из публичной сети. Ключ ExtPort имеет значение номера порта-адресата. Ключ IntPort имеет значение порта, на который будут перенаправлены пакеты во внутренней сети. Комментарии начинаются с символов // и продолжаются только до конца строки. В целом имена ключей и наборы значений определяются приложением и должны быть описаны в спецификациях. Также строго должна выдерживаться структура данных.

**Подключение к Интернету**

Важнейшим свойством «M2M ассистент» является постоянное подключение к сети Интернет. Для этого используется сразу два канала связи – GPRS и Ethernet. Большое внимание уделяется надёжности поддержания связи. Для этого применяется несколько средств:

- контроль доступности корневых доменов Интернета;
- периодические посылки контрольных пакетов TCP;
- встроенный агент SNMP для удалённого контроля параметров сетевого стека;
- встроенный протокол RIP2 для обнаружения маршрутов.

Контроль доступности корневых доменов используется в канале GPRS. Это связано с тем, что существует повышенный риск соединения по GPRS без выхода в публичный Интернет либо разрыва связи с Интернетом. Недоступность корневых доменов указывает приложению на невозможность доступа к Интернету. Названия и количество корневых доменов в приложении пользователь может изменить в файле BOOTPARAMS.INI. Реакцией приложения на отсутствие связи с корневыми доменами может быть либо повторное установление связи по GPRS, либо сброс всего устройства.

Периодическая посылка TCP-пакетов может быть включена пользователем, если в его распоряжении есть удалённый сервер, распознающий специальный прикладной протокол приложения поверх протокола TCP. Этот подход позволяет более экономно расходовать интернет-трафик при контроле связи.

Встроенный агент SNMP является отдельной задачей внутри приложения, обслуживающей связь с удалёнными менеджерами SNMP. Поддерживаются протоколы SNMP v1 и SNMP v2 и стандартные информационные базы (MIB) согласно спецификациям RFC1213 и RFC1471-RFC1473. Это означает, что пользователь, подключившись удалённо к устройству через программу менеджера SNMP, может узнать практически всё о состоянии стека протоколов TCP/IP в устройстве: сколько данных по каждому интерфейсу было принято и отправлено, сколько данных было потеряно, какая в устройстве таблица маршрутизации, какие порты открыты, сколько установлено соединений и т.д. Кроме того, приложение снабжено специальной информаци-

онной базой (отдельный MIB-файл), предоставляющей доступ ко всем настройкам приложения из программ – менеджеров SNMP.

Протокол RIP2 служит для объявления устройством собственных маршрутов в сложной сети и для приёма информации о маршрутах с ближайших маршрутизаторов. В сетях с изменяющейся во времени топологией это может избавить от необходимости ручных настроек маршрутов в приложении.

В контроллере предусмотрено несколько сценариев применения с настройками для определения интерфейса выхода в Интернет (GPRS, Ethernet, VPN поверх Ethernet или GPRS). Если на обслуживаемом объекте нет порта Ethernet, то для выхода в Интернет устанавливается канал GPRS. Если сеть Ethernet имеет выход в Интернет, то для экономии трафика GPRS логично установить выход через Ethernet, но как только связь по Ethernet разорвётся, GPRS станет текущим каналом выхода в Интернет. Если включена VPN, она автоматически становится каналом выхода в Интернет, независимо от того, какой интерфейс был назначен. При работе через интерфейс Ethernet устройство поддерживает протоколы ARP, RARP и DHCP.

**Канал связи через GPRS**

В контроллере использован модуль GSM/GPRS Telit 865 DUAL, который, помимо стандартных для модулей GSM настроек, обладает большим набором собственных настроек, расширяющих функциональность модуля. При включении модуля и установлении связи программное обеспечение «M2M ассистент» производит установку настроек модуля посредством AT-команд. Все команды, посылаемые модулю, и ответы, получаемые от него, записываются устройством в отдельный файл на карте microSD с сохранением точного времени их поступления.

Список команд, посылаемых модулю при включении и инициализации, и т.н. сценарий инициализации находятся в файле GSM.JSON на карте microSD. Хотя этот файл в большинстве случаев содержит все необходимые настройки для инициализации модуля, иногда, в отладочных целях или с целью изменения функциональности, может понадобиться его модификация.

В листинге 2 показаны несколько первых записей сценария инициализации, который представлен в виде JSON-массива COMMANDS. В массиве может быть произвольное количество объектов. Каждый объект описывает одну команду. Команды исполняются последовательно сверху вниз. Объекты имеют следующий набор ключей: ключ DESCRIPTION используется для описания команды, т.е. является комментарием и может отсутствовать в объекте; ключ STRING имеет значение, соответствующее передаваемой AT-команде; ключ TERM имеет значение символа в шестнадцатеричной кодировке, завершающего AT-команду при отправке модулю (обычно это символ с кодом 0x0D, но иногда, например при отправке SMS, это может быть другой символ); ключ DELAY задаёт значение задержки в миллисекундах при ожидании ответа на команду и введён с целью быстрого установления связи по GPRS. В некоторых приложениях, например в охранных системах, желательна очень быстрая передача сообщений, и тогда установление максимального времени ожидания ответа не позволя-

ет модулю продолжительно «зависать» на некоторых командах и удлинять таким образом время выхода на связь.

**Листинг 2**

```
{
"COMMANDS":
[
{
"DESCRIPTION": "Device ignores
DTR transitions",
"STRING": "AT&D0",
"TERM": "0D",
"DELAY": 1000
},
{
"DESCRIPTION": "DTE-Modem Local
Flow Control",
"STRING": "AT+IFC=0,0",
"TERM": "0D",
"DELAY": 1000
},
{
"DESCRIPTION": "Calling Line
Identification Presentation",
"STRING": "AT+CLIP=1",
"TERM": "0D",
"DELAY": 1000
},
}
```

При установлении связи по GPRS в GSM-модуль необходимо передать правильное название точки доступа (APN), а также логин и пароль. Название точки доступа зависит от оператора сети GSM и параметров роуминга. По понятным причинам невозможно предусмотреть все сценарии установления связи во всех существующих сетях GSM. Тем не менее, в устройстве предусмотрен файл APN.LST со списком параметров точек доступа, которые может встретить пользователь в своём регионе. Каждая запись в файле содержит уникальный номер сети GSM, название точки доступа, логин и пароль. Установив связь с определённым оператором, устройство получает от GSM-модема уникальный номер сети оператора, по которому в файле APN.LST находит параметры точки доступа. Если необходимой записи в файле не найдено, устройство посылает SMS по заранее заданному номеру с объявлением номера сети оператора, к которому оно подключилось, и другими параметрами. Получив такое SMS, пользователь имеет возможность послать в ответ SMS, содержащее необходимую конфигурацию точки до-

## САПР печатных плат

**EREMEX DELTA DESIGN —  
сквозной цикл проектирования  
печатных плат**

Менеджер  
библиотек



• Схемотехническое  
моделирование

• Топологический  
трассировщик

• Схемный редактор



Тел.: +7 (495) 232-18-64 • Тел. +7 (812) 448-0444  
Факс: +7 (495) 234-06-40 • E-mail: info@eremex.ru • Web: www.eremex.ru



Реклама

ступа, которая будет записана устройством в файл APN.LST. После этого контроллер попытается вновь установить связь по GPRS.

### Подключение к Интернету внешних устройств по сети Ethernet

Благодаря интерфейсу 10/100Base-T, контроллер может быть подключен в локальную сеть Ethernet, получив статический или динамический адрес IP. Контроллер может играть роль маршрутизатора в локальной сети для перенаправления пакетов из локальной сети в Интернет через модуль GSM. Чтобы остальные узлы локальной сети могли автоматически распознать присутствие резервного канала, устройство поддерживает протокол обмена маршрутами RIP2. Информацию о маршрутах контроллер может также сообщать по встроенному протоколу SNMP.

Локальная сеть может состоять из одного или нескольких простых микроконтроллерных встраиваемых устройств с интерфейсом Ethernet, подключённых к «M2M ассистент» напрямую или через концентратор. Для такой конфигурации контроллер может предоставить возможность открытия доступа к web-, Telnet- и FTP-серверам этих устройств из Интернета через свой канал связи GPRS. Для этого в «M2M ассистент» встроен сервер трансляции сетевых адресов (NAT), который позволяет внешним устройствам выходить в Интернет через контроллер и при этом делает их видимыми пользователям сети Интернет по публичному адресу, полученному устройством, и определённым номерам портов, которые указаны в файле конфигурации NAT. Формат файла конфигурации приведён выше при описании формата JSON.

В листинге 1 в первом объекте массива показана конфигурация, когда порт 80 (обычно это порт встроенного web-сервера) устройства с адресом 192.168.1.31 в локальной сети становится открытым в Интернете с обращением через порт 81. В данном случае номера внутреннего и внешнего портов разные, поскольку порт 80 будет занят для web-сервера самого контроллера. Поэтому в web-браузерах после IP-адреса «M2M ассистент» надо указать номер порта 81.

### Подключение через VPN

Виртуальная частная сеть (VPN) устанавливается поверх протокола IP и защищает обмен данными, который ведётся с устройством. Защита канала связи в публичной сети Интернет является острой необходимостью не только по причине умышленных деструктивных действий, но и для защиты от сканирования и широковещательных запросов. Для начала взаимодействия с устройством через VPN, необходимо провести сеанс авторизации. Все пакеты, приходящие на другие порты или без авторизации, устройством игнорируются.

Устройство может организовать канал VPN как через Ethernet, так и через GPRS. Это определяется настройками в файле BOOTPARAMS.INI. В текущей версии поддерживается протокол VPN PPTP. По данному протоколу контроллер способен подключаться к компьютерам с операционной системой Windows XP, Windows 7 или к маршрутизаторам VPN.

При использовании GPRS, для организации свободного доступа к портам TCP/UDP устройства пользователи вынуждены приобретать у провайдера планы с получением публичного адреса IP для модема GSM. Рано или поздно такой адрес становится объектом постоянного сканирования и направленных передач большого объёма данных со стороны некоторых агрессивных узлов Интернета. Это создаёт избыточный трафик, который будет вынужден оплачивать пользователь устройства. Технология VPN позволяет этого избежать. Но покупка выделенной виртуальной частной сети у провайдера – дело дорогое. В этом случае «M2M ассистент» предлагает более экономичное решение. Чтобы его реализовать, пользователь покупает план без предоставления публичного адреса IP, а «M2M ассистент» настраивается на организацию виртуального канала с частной сетью пользователя, организованной на базе персонального компьютера или недорогого маршрутизатора с функцией VPN. При этом сохраняется свободный доступ к FTP, web, Telnet и прочим серверам в устройстве.

### WEB-СЕРВЕР С SSI, CGI И SSL

Сервер web в контроллере «M2M ассистент» доступен как со стороны GPRS-соединения, так и со стороны ин-

терфейса Ethernet. Web-сервер применяется для редактирования параметров устройства, выполнения команд, просмотра состояний, доступа к файлам и т.д. из web-браузеров компьютеров и мобильных устройств. Учитывая специфику работы в Интернете, web-сервер снабжён функцией базовой авторизации и шифрованием потока согласно спецификации SSL. Для большей гибкости пользователь может изменить порт web-сервера со стандартного 80-го на какой-либо другой.

Страницы web-сервера могут генерироваться динамически специальными встроенными приложениями либо быть статическими с динамическими включениями (SSI). Контроллер выпускается с уже подготовленным набором статических страниц, предназначенных для редактирования параметров устройства (те же параметры хранятся в файле BOOTPARAMS.ini). Редактирование параметров на web-страницах приводит к их перезаписи в файле BOOTPARAMS.INI.

Страницы редактирования параметров содержат включения динамического содержания, которые отмечаются специальным тэгом следующего вида:

```
<!--#internal_var_form
VARIABLE={мнемоника переменной}>
```

Встретив такой тэг на статической странице HTML, web-сервер, прежде чем отправить страницу браузеру, подменяет тэг на код HTML, представляющий значение переменной и элемент её редактирования. Таким образом, тэг

```
<!--#internal_var_form
VARIABLE=PR1BDR>
```

будет заменён фрагментом кода HTML

```
<input type="text" size="32"
name="value" value="115200">.
```

Данный фрагмент кода HTML представляет поле текстового ввода шириной 32 символа со вставленной текстовой строкой 115200 (в данном случае это установка скорости первого порта RS-232). Тип поля ввода (text, radio, textarea...) изменяется автоматически web-сервером по определённым правилам в зависимости от содержания параметра. Каждое поле ввода находится в форме ввода, содержащей код кнопки ввода и скрытый параметр:

```
<input type="submit" name="Btn"
id="COMMNM" value="Update">
<input name="param" type="hidden"
value="COMMNM" >
```

После того как пользователь отредактирует содержимое поля ввода и нажмёт кнопку Update в браузере, web-серверу будет отправлен запрос HTTP следующего вида:

```
POST
http://192.168.1.32/set_variable
HTTP/1.1
Host: 192.168.1.32
Connection: keep-alive
Content-Length: 37
Cache-Control: max-age=0
Referer:
http://192.168.1.32/pp652.HTM
.
. [Остальные заголовки запроса
браузера]
.
value=115200&Btn=Update&param=PRT
1BDR
```

В данном запросе применяется метод POST, а к «M2M ассистент» производится обращение по адресу

192.168.1.32. Получив такой запрос, web-сервер устройства однозначно идентифицирует, какой тип операции необходимо произвести (Update), с какой переменной (PRT1BDR) и с каким значением (115200). Выполнив операцию, web-сервер вернёт страницу, указанную в заголовке запроса HTTP ключом Referer. Так работает механизм редактирования параметров через web-сервер устройства. Перечень всех мнемоник переменных, доступных через динамическое включение `internal_var_form`, можно найти в файле `BOOTPARAMS.INI`.

Помимо редактирования параметров, web-сервер имеет специальные виды SSI, позволяющие создавать элементы просмотра состояний цифровых и аналоговых входов, просматривать и изменять состояния выходов и проводить другие действия. Файлы встроенного web-сервера находятся на карте microSD контроллера в папке `WEBPUBDIR`. В данном случае страницы беспрепятственно доступны для всех пользователей сети. Одновременно контроллер может поддерживать до десяти независимых сессий с web-сервером. В публичных сетях для защиты

web-сервера от несанкционированного доступа применяется т.н. алгоритм базовой аутентификации. Файл `USERS.TXT` с реквизитами доступа при базовой аутентификации хранится в папке `WEBPRIVDIR` устройства.

Процедуры аутентификации часто бывает недостаточно, чтобы защититься от нежелательных воздействий. В таком случае контроллер предоставляет возможность шифрования канала связи с web-сервером по спецификации SSL. Чтобы перевести web-сервер в режим использования SSL, достаточно все страницы web-сервера перенести из папки `WEBPUBDIR` в папку `WEBPRIVDIR` на карте microSD. Страницы, оставшиеся в папке `WEBPUBDIR`, по-прежнему будут доступны без аутентификации и шифрования. Сертификаты SSL, необходимые web-серверу, находятся в папке `SSL` на карте microSD. Устройство содержит демонстрационные сертификаты. При подключении устройства в рабочее окружение пользователь должен записать собственные сгенерированные сертификаты или сертификаты, приобретенные в центрах сертификации.

*Продолжение следует*

# Широкополосные СВЧ

## Транзисторы GaN HEMT и микросхемы MMIC

**Транзисторы и кристаллы на основе GaN**

- Ширина затвора 0,4 мкм
- Рабочая частота до 6 ГГц
- Выходная мощность до 240 Вт

**Новые кристаллы**

- Ширина затвора 0,25 мкм
- Рабочая частота до 18 ГГц

**Новые транзисторы X-диапазона**

- Рабочий диапазон 7,9-9,6 ГГц
- Выходная мощность 50 Вт и 100 Вт
- Согласованные на вх/вых 50 Ом

**Дополнительные продукты и услуги**

- Отладочные платы
- Модули для САПР
- Контрактное производство

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CREE (MICROWAVE)**

**АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

Тел.: (495) 232-2522 • Факс: (495) 234-0640 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

# Контроллер термоэлектрического охладителя компании Chroma ATE

**Алексей Карепанов (Москва)**

**В статье представлено описание контроллера термоэлектрического охладителя компании Chroma ATE (Тайвань). Приведены технические параметры двух приборов серии 54100.**

Компания Chroma ATE (Тайвань) является одним из ведущих производителей тестового и измерительного оборудования. Новым направлением её деятельности является производство контроллеров термоэлектрических приборов. Одними из лучших в своём классе, по своим функциональным и техническим характеристикам, являются контроллеры термоэлектрических охладителей серии 54100 компании Chroma ATE (см. таблицу).

Модуль термоэлектрического охладителя (thermoelectric cooler, TEC) представляет собой полупроводниковое устройство, которое может управлять тепловым потоком с помощью электрического тока. Это может быть полезно при контроле небольших температур, поскольку TEC обеспечивает быстрое время отклика на изменение температуры и сверхвысокую стабильность по температуре. Кроме того, регуляторы температуры TEC могут быть очень компактными и экологически чистыми, поскольку не имеют подвижных частей и не содержат хладагент.

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ 54100

Контроллеры термоэлектрических охладителей производства Chroma позволяют подключать две термопары Т-типа. Холодный спай термопары этого устройства внутренне стабилизирован до 0,001°C, что позволяет реализовать стабильность регулирования и разрешения по температуре до 0,01°C. Управляющий усилитель термоэлектрического охладителя выполнен на базе ШИМ с выходным фильтром, благодаря чему достигается высокий КПД и низкий уровень электромагнитных помех.

Другой особенностью контроллеров термоэлектрических охладителей производства Chroma является автоматическая настройка ПИД-регулятора, использующая специальный алгоритм, который обеспечивает оптимальную реакцию на управляющие воздействия и изменения температуры, независимо от габаритов и геометрии тепловых платформ.

Контроллеры термоэлектрических охладителей Chroma обеспечивают

мощность 150 Вт и 300 Вт для управления TEC большой мощности, что означает более широкий температурный диапазон, повышенную скорость отклика на изменения температуры и разнообразие применения платформ. При сопоставимых параметрах точности и стабильности, компания Chroma предлагает одну из лучших систем управления термоэлектрическими охладителями в данном ценовом диапазоне.

Модули термоэлектрических охладителей (TEC) представляют собой реверсивный тепловой насос, управляемый током. Таким образом, система терморегулирования с TEC-модулями может быстро достигать температур как выше, так и ниже температуры окружающей среды. Контроллер термоэлектрических охладителей производства Chroma специально разработан для обеспечения оптимальных характеристик регулирования температуры TEC-модулей (см. рис. 1). Температура может изменяться очень быстро, без перерегулирования и отклонений от целевой температуры. Если случаются температурные возмущения, даже при скачкообразном изменении мощности на 100 Вт, контроллеры термоэлектрических охладителей производства Chroma могут снизить изменение температуры до значений, меньших 1°C, в течение нескольких секунд и в большинстве случаев обеспечивают стабильность целевой температуры с точностью 0,01°C.

На рынке имеется много TEC-контроллеров с малой выходной мощностью, предназначенных, главным образом, для небольших устройств и лабораторных испытаний в небольшом диапазоне изменения температуры. С развитием технологий могут потребоваться TEC повышенной мощности. Например, испытание солнечных батарей площадью более 4 кв. дюймов в диапазоне от -20 до 85°C требует мощности регулирования TEC более 100 Вт, а тепловая нагрузка от солнечного света может достигать 30 Вт и выше. Для испытания осветительных светодиодных

### Технические характеристики контроллеров

Характеристики	Модель	
	54115-24-8	54130-27-12
Выходное напряжение TEC, В	24	27
Выходной ток TEC, А	8	12
Выходная мощность регулирования TEC, Вт	150	300
<b>Регулирование температуры</b>		
Диапазон задания температуры, °C	-50...150	
Дискретность задания температуры, °C	0,01	
Стабильность регулирования температуры <sup>1</sup>	0,01°C ±0,03°C (24 ч)	
<b>Измерение температуры</b>		
Диапазон измерения температуры, °C	-50...150	
Тип температурного датчика	Термопара типа Т	
Максимальное разрешение при измерении температуры, °C	0,01	
Абсолютная погрешность измерения температуры <sup>2</sup> , °C, не более	±(0,3 + 0,002 ×  T - 25 )	

<sup>1</sup>Только для контроллера, без учёта термопары.

<sup>2</sup>Погрешность обеспечивается, если пользователь использует термопару производства Chroma.

модулей мощностью 30 Вт в диапазоне  $-20...150^{\circ}\text{C}$  также требуется большая мощность регулирования ТЕС. Контроллеры термоэлектрических охладителей производства Chroma обеспечивают мощность регулирования ТЕС 150 или 300 Вт, удовлетворяя требованиям, предъявляемым к большим и малым платформам (см. рис. 2). Как правило, выход контроллера может управлять несколькими модулями ТЕС.

Контроллеры термоэлектрических охладителей, использующие термопары, обычно обеспечивают точность около  $1^{\circ}\text{C}$  и разрешение  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Этого недостаточно для некоторых приложений. Например, оценка производительности солнечных батарей требует точности стабилизации температуры не выше  $1^{\circ}\text{C}$ . Фазовый переход некоторых материалов может происходить в пределах  $0,1^{\circ}\text{C}$  и менее. Некоторые биохимические процессы также чувствительны к критическим температурам. Измерение теплового сопротивления тепловых трубок зачастую происходит при колебаниях температуры менее  $1^{\circ}\text{C}$ .

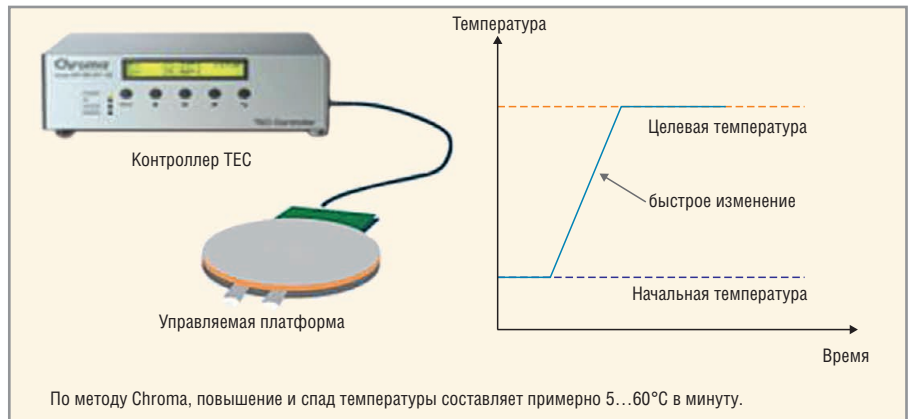


Рис. 1. Характеристика регулирования температуры

Некоторые контроллеры термоэлектрических охладителей с высоким разрешением используют в качестве датчиков различные термосопротивления, специализированные ИС или термисторы. Такие датчики могут иметь проблемы с металлическим контактом или являются слишком громоздкими для измерения в требуемых точках.

Контроллеры термоэлектрических охладителей производства Chroma базируются на термопарах с погрешностью по температуре  $0,3^{\circ}\text{C}$  и разре-

шением  $0,01^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 3). Это означает, что пользователи могут добиваться результатов с высокой повторяемостью, высокой точностью и, как следствие, с большой доверительной вероятностью.

Программа управления контроллером термоэлектрических охладителей производства Chroma предоставляет графический пользовательский интерфейс, в котором можно задавать и считывать значения температуры во времени, сохранять данные в файл на ПК, выполнять циклическое измене-



ЗАО «ТЕСТПРИБОР» ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР  
КОМПАНИИ CHROMA ATE, [HTTP://WWW.CHROMAATE.COM](http://www.chromaate.com)

ПОСТАВЩИК ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ



ЭЛЕКТРОННЫЕ НАГРУЗКИ

ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ



ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ



ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА БОЛЬШОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ



ТЕСТПРИБОР

125480, Г. МОСКВА, УЛ. ГЕРОЕВ ПАНФИЛОВЦЕВ, Д. 24, ОФ. 718  
ТЕЛ/ФАКС: (495) 225-67-37, (495) 496-95-55  
E-MAIL: TESTPRIBOR@TEST-EXPERT.RU, [HTTP://TESTPRIBOR.PF](http://TESTPRIBOR.PF)

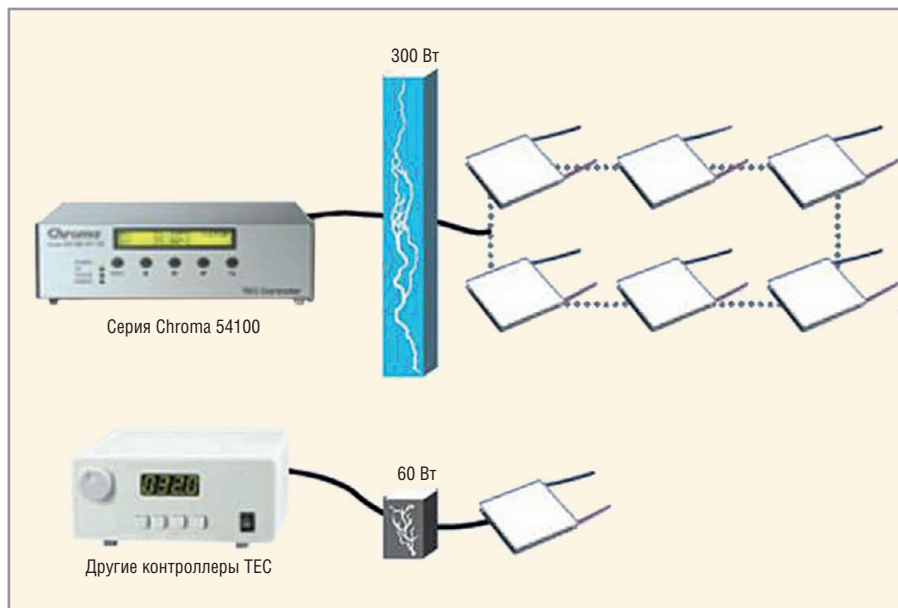


Рис. 2. Мощность регулирования ТЕС

ние температуры, запускать подпрограммы на ПК, устанавливать и считывать параметры ПИД-регулятора, предельные значения тока и другие настройки.

**Высокоэффективные стандартные платформы**

В ассортименте продукции компании Chroma имеется несколько термоэлектрических платформ, работающих с ТЕС-контроллерами собственного производства, в том числе стандартные платформы для испытания светодиодов, солнечных батарей, ЖК-дисплеев, полупроводников и оптических датчиков и других устройств (см. ниже). Для каждого из указанных устройств можно добиться широкого диапазона температур с типовой стабильностью до 0,01°C.

Дополнительно к контроллеру ТЕС выпускаются:

- А541151 – платформа ТЕС-контроллера для фотометрического шара;

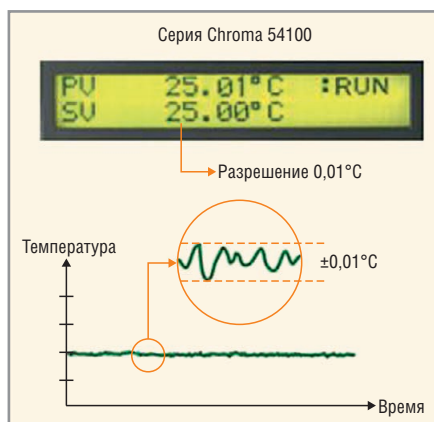


Рис. 3. Разрешение по температуре

- А541152 – платформа ТЕС-контроллера для приработочных испытаний светодиодов;
- А541153 – платформа ТЕС-контроллера для светодиодов на кремниевой пластине;
- А541154 – платформа ТЕС-контроллера для электронной бумаги;
- А541155 – платформа ТЕС-контроллера для солнечных батарей.

Основные характеристики платформ:

- реверсивная система управления с выходом 150 или 300 Вт;
- ШИМ-выход с фильтром (КПД более 90%) обеспечивает линейное управление с пульсациями тока менее 20 мА;
- диапазон измерения и настройки температур -50...150°C с разрешением 0,01°C и абсолютной погрешностью до 0,3°C;
- краткосрочная стабильность (1 ч) ±0,01°C, долгосрочная стабильность ±0,05°C с регулированием без выбега;
- функция автоматической настройки ПИД-регулятора при больших сигналах, обеспечивающая оптимальные характеристики регулирования;
- два входа для термопар типа Т, один – для обратной связи, другой – для измерения и компенсации;
- последовательный интерфейс RS-232 для дистанционного управления с ПК и регистрации значений температуры;
- программа для ПК с дружественным пользовательским интерфейсом.

**Новости мира**

**Fujitsu показала передачу данных через экран телевизора**

Инженеры Fujitsu Laboratories разработали новую технологию передачи дополнительной информации прямо в картинке видеофайла. Компания хочет распространить эту технологию в 2013 г., это простой и удобный способ передачи дополнительной информации с телевизора на телефон.



Реклама не всегда бывает бесполезной, иногда после просмотра 30-секундного ролика по телевидению хочется узнать что-то ещё о представленном товаре или услуге. Для этого нужно открыть поиск в веб и ввести запрос. Fujitsu предлагает делать это мгновенно, просто наведя камеру телефона на телевизор. Это что-то вроде QR-кода, только считывается он по-другому.

Закодированный сигнал передаётся прямо в кадре, изображение становится в определённой последовательности темнее и светлее, глаз этого не замечает, а камера легко фиксирует. Специальное приложение расшифровывает этот код, за одну секунду передаются до 16 бит информации, сигналы могут идти на протяжении всего рекламного ролика.

Изначально технология представляла собой нечто вроде цифровой подписи, она предназначалась для борьбы с пиратством, теперь Fujitsu предлагает возможность использовать её в более практических целях, близких простому человеку.

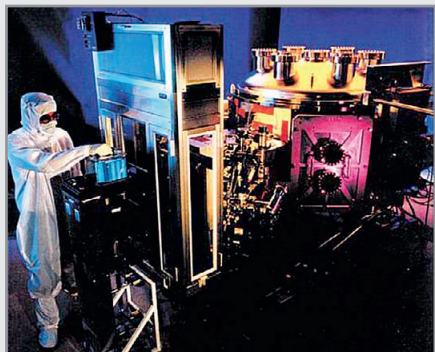
<http://www.diginfo.tv/>

**EUV-литография угрожает закону Мура**

Закон Мура, который в течение нескольких десятилетий определял темпы развития микроэлектроники, в частности, интегральных микросхем, в ближайшее время будет давать сбои. К такому мнению пришли эксперты в рамках международного симпозиума 2012 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography. Причиной такого вердикта стала ситуация, когда ведущие чипмейкеры задерживают переход на литографию с применением глубокого ультрафиолета.

Впрочем, производители интегральных микросхем поставлены в зависимое поло-

# Новости мира News of the World Новости мира



жение. Они готовы к освоению EUV-литографии, но пока технологическое оборудование не соответствует их требованиям. Дело в том, что для проведения этого технологического процесса необходимо использование более мощных источников света. Для выпуска 14-нм микросхем необходимо увеличить этот показатель примерно в двадцать раз по сравнению с сегодняшними источниками ультрафиолетового излучения. К сожалению, быстро усовершенствовать оборудование не получится – ориентиром здесь может служить лишь 2014 г. Именно в такие сроки разработчики планируют справиться со своими задачами, да и то, это лишь примерный прогноз, и подготовка может затянуться.

На данный момент установки литографии с использованием глубокого ультрафиолета созданы и успешно работают. Например, исследовательский центр Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC) в прошлом году изготовил около трёх тысяч кремниевых пластин по технологии EUV-литографии. Но такая производительность слишком мала, чтобы соответствовать требованиям крупносерийного производства, каким владеют компании Intel, Samsung, TSMC и прочие.

Для освоения 14-нм технологического процесса крайне необходимо освоение EUV-литографии. Например, массив статической памяти (SRAM) по 14-нм нормам невозможно изготовить без глубокого ультрафиолета, а значит, и центральные процессоры в целом нуждаются в применении такого оборудования.

Поставленные перед разработчиками задачи и проблемы столь сложны и ресурсоёмки, что требуют привлечения самих чипмейкеров к их решению. Компании Intel и TSMC уже вовсю вовлечены в этот процесс – не так давно они объявили о финансовых вложениях в ведущую компанию – разработчика литографического оборудования ASML. Сама Intel уже заявила, что начнёт серийно выпускать 14-нм микросхемы к следующему году, а к 2015 г. освоит и 10-нм техпроцесс. Если к этому моменту

EUV-установки ещё не будут готовы, то технологам Intel придётся идти на ряд ухищрений, увеличивая количество операций и повышая тем самым себестоимость продукции и время её изготовления. Но всё равно, несмотря на эти недостатки, интегральные микросхемы будут рентабельны.

Нет сомнений, что в конечном итоге технология глубокого ультрафиолета поддастся разработчикам, серийный выпуск 14-нм микросхем с применением EUV-литографии будет налажен. После этого на горизонте появится новая проблема – технологический процесс с проектными нормами в 6 нм, а потом и 2...3 нм. Здесь уже не обойтись без той же EUV-литографии, но придётся использовать уже иммерсионный слой на поверхности кристалла, т.е. некий гибрид EUV-литографии и иммерсионной фотолитографии, но уже выведенной на более высокий уровень.

<http://elinform.ru>

## Атомные часы помогут справиться с навигацией без GPS

В армии США начался заключительный этап разработки прототипов микрочипов, которые обеспечат устойчивость армии США к отключению системы навигации GPS.

Угроза потери ситуационной осведомлённости и возможности наносить высокоточные удары в отсутствие GPS давно беспокоит американских военных. При этом для большинства стран сбоем в работе GPS являются единственной надеждой оказать хоть какое-то эффективное сопротивление высокотехнологичной военной машине США.

В военном научном центре CERDEC армии США начался важный этап программы по разработке устройств, позволяющих сохранить высокую точность навигации в отсутствие сигнала GPS. Речь идёт о создании партии из 500 прототипов атомных часов на чипе, или сокращённо CSAC.

Цель программы CSAC состоит в обеспечении функционирования систем навигации и оружия каждой боевой единицы армии США в любых условиях. При этом будут снижены затраты на оборудование и уменьшено энергопотребление систем навигации.

Атомные часы являются важным элементом навигационной системы, независимой от GPS. В сочетании с другими датчиками CSAC могут обеспечить синхронизацию времени в боевой тактической сети, например, в случае спуфинга (попытки подме-

нить истинный сигнал ложным), и выявить ошибочную информацию. Сверхточные атомные часы позволяют повысить точность инерциальных навигационных систем и создать локальные навигационные сети.

До сих пор громоздкие атомные часы можно было установить лишь на крупных платформах: кораблях, самолетах и т.д. Однако для боеприпасов и снаряжения пехотинца этот вариант не подходит. Поэтому и были созданы миниатюрные CSAC объёмом примерно 15 кубических сантиметров. Данные атомные часы можно легко интегрировать в носимое оружие, мобильный компьютер или управляемый боеприпас.

Специалисты CERDEC надеются, что каждый поставщик новых атомных часов в конечном итоге будет в состоянии производить более 20 тыс. единиц CSAC в год, в ценовом диапазоне от 300 долл. или меньше.

<http://elinform.ru>

## Rohm разработала модуль питания с рекордной плотностью мощности

Японская компания Rohm в рамках выставки CEATEC 2012 представила прототип модуля питания на основе элементов из карбида кремния, выходная объёмная плотность мощности которого составляет 145 кВт/литр. Это самое большое значение в отрасли, – утверждают разработчики.

Новинка способна питать 60-киловаттный трёхфазный двигатель переменного тока. При этом максимально допустимое напряжение устройства достигает 600 В, а максимальный выходной ток – 600 А. Модуль обеспечивает частоту коммутации 20 кГц при напряжении 350 В и токе 575 А. Источник питания нацелен на использование в автомобильной промышленности и может работать при температурах до 200°C.

Прототип использует шесть элементов, оснащённых SiC MOSFET-транзисторами для управления стороной высокого или низкого напряжения одной фазы и пятью микросхемами. Также компания применила конденсаторы собственной разработки, которые мало теряют ёмкость при высоких температурах. При повышении температуры с комнатной до 225°C их ёмкость снижается всего на 10%. Традиционные керамические конденсаторы в таких условиях потеряли бы более 50% своей ёмкости. Конденсаторы Rohm имеют ёмкость 0,1 мкФ, а их размеры составляют 39 × 33 × 3 мм.

[www.3dnews.ru](http://www.3dnews.ru)

# Сверхминиатюрные изолированные DC/DC-преобразователи со стабилизированным выходом и ультранизким уровнем пульсаций

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье приведены принципиальные схемы, рисунки печатных плат и фотографии изолированных DC/DC-преобразователей 5 В/5 В со стабилизированным выходом мощностью 1/4 и 1/2 Вт на основе контроллеров TPS61040/41 и SN6501. Описанные устройства отличаются сверхмалым уровнем пульсаций (до 0,5 мВ), миниатюрностью (до 7 × 11 мм) и низкой себестоимостью.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время выпускается огромное количество DC/DC-преобразователей, которые различаются между собой по многим параметрам. Наиболее важными параметрами, по мнению автора, являются входное/выходное напряжения, количество каналов (выходных напряжений), изоляция входного и выходного напряжения, мощность, габариты, уровень пульсаций выходного напряжения, наличие встроенного линейного стабилизатора напряжения и, конечно, цена.

Из всего многообразия DC/DC-преобразователей автора заинтересовали одноканальные DC/DC-преобразователи 5 В/5 В мощностью не более 1 Вт, а именно изолированные преобразователи со стабилизированным выходом мощностью 1/4 и 1/2 Вт, т.е. с выходным током не более 50 и 100 мА соответственно. Такие DC/DC-преобразователи, как правило, применяются для гальванической развязки интерфейсов (например, RS232, SPI и т.п.), а также для питания небольших устройств, в которых используются микроконтроллеры и высокоточные АЦП. Причём, если для питания интерфейсов достаточно мощности 1/4 Вт и не требуется стабильность выходного напряжения, то для питания устройств, в которых используются высокоточные АЦП, необходимы DC/DC-преобразователи мощностью не менее 1/2 Вт со встроенным линейным стабилизатором напряжения и уровнем пульсаций не более 10 мВ. По роду деятельности автору понадобилось несколько таких преобразователей для питания небольших устройств, в состав которых входили микроконтроллеры, сопряжённые с высокоточными АЦП.

Попытка приобрести готовые DC/DC-преобразователи с указанными параметрами не увенчалась успехом: уровень пульсаций выходного напряжения предлагаемых преобразователей, даже оборудованных встроенным линейным стабилизатором, превышал 50 мВ. Примерно такой уровень пульсаций имеют и более дешёвые, нестабилизированные DC/DC-преобразователи. Любопытно, что при мощности преобразователей в 1 Вт и менее их цена практически не зависит от мощности.

В связи с острой потребностью в DC/DC-преобразователях с указанными параметрами, была предпринята попытка разработать преобразователи своими силами, учитывая опыт конструирования подобных устройств [1]. В результате сконструированные DC/DC-преобразователи вполне оправдали ожидания по уровню пульсаций выходного напряжения, габаритам и себестоимости. Были реализованы два устройства: изолированный DC/DC-преобразователь 5 В/5 В мощностью в 1/4 Вт (с выходным током 50 мА) со стабилизированным выходом и уровнем пульсаций не более 5 мВ и изолированный DC/DC-преобразователь 5 В/5 В мощностью в 1/2 Вт (выходной ток 100 мА) со стабилизированным выходом и уровнем пульсаций не более 0,4...0,6 мВ (!). Оба преобразователя получились довольно миниатюрными, а стоимость комплектующих одного устройства не превысила 100 руб.

## ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ниже представлены принципиальные схемы изолированных DC/DC-преобразователей 5 В/5 В со стабили-

зированной выходом на базе контроллеров TPS61040/41 и SN6501 (или MAX253) с кратким пояснением функционирования.

### ИЗОЛИРОВАННЫЙ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ 5 В/5 В НА КОНТРОЛЛЕРЕ TPS61040/41

Микросхема контроллера TPS61040/41 компании Texas Instruments относится к так называемым повышающим DC/DC-преобразователям со встроенным ключом (максимальный ток до 400 мА) [2]. Существует также контроллер TPS61060, который пока не доступен для приобретения в РФ. Назначение подобных преобразователей – питание нескольких последовательно соединённых светодиодов от одной или нескольких батарей. Диапазон напряжения питания TPS61040/41 составляет 1,8...6 В. Микросхема TPS61040/41 достаточно популярна, доступна для приобретения, имеет многочисленные аналоги (например, LM2703, LT1615, AME5131, CAT4137, G5111T11, SP6690 и др. [3]) и относительно недорогая (в корпусе SOT23-5 стоит чуть более 1 долл. США, в корпусе SON-6 размером 2 × 2 мм – менее 1 долл.).

Стандартная схема включения TPS61040/41 приведена на рисунке 1. Частота работы преобразователя может достигать 1 МГц и более [4]. После рассмотрения принципа работы контроллера TPS61040/41 можно сделать следующий вывод. Если из схемы рис. 1 удалить компоненты R1, R2, CFF, CO и D1, а вход FB заземлить, то частота переключения транзистора (и скважность импульсов) будет определяться только индуктивностью L1 и таймером (400 нс), причём чем больше индуктивность L1, тем ниже частота переключения (и наоборот).

Частота переключения также определяется сопротивлением нагрузки: наличие гистерезиса в ограничивающем ток компараторе [4] приводит к тому, что частота изменяется скачкообразно почти в три раза во всём диа-

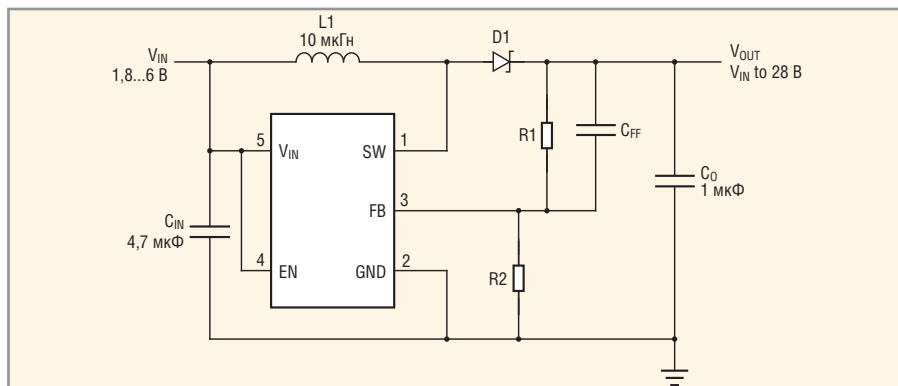


Рис. 1. Основная схема включения контроллера TPS61040/41 [9]

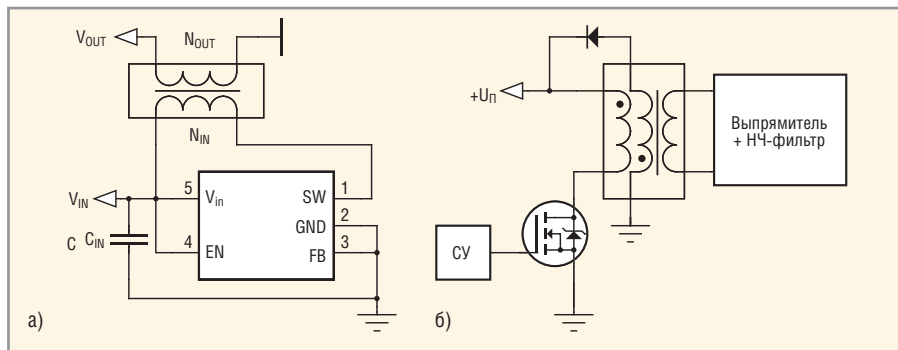


Рис. 2. Функциональные схемы однотактных прямоходовых преобразователей [5]

а – идеализированная схема, б – с дополнительной «размагничивающей» обмоткой

пазоне изменения тока нагрузки. Максимальная частота устанавливается при максимальном токе нагрузки и достигает 1 МГц. К сожалению, в описании контроллера TPS61040/41 это полезное свойство не документировано, хотя с ростом частоты лучше подавляются ВЧ-пульсации. Следует отметить, что не все аналоги контроллера TPS61040/41 переключают частоту. Например, в контроллере LM2703 частота постоянна, а изменяется только скважность импульсов.

Если заменить индуктивность L1 трансформатором (см. рис. 2а), то выходное напряжение  $V_{OUT}$  вторичной обмотки этого трансформатора (в идеальном случае) будет определяться (в том числе) входным напряжением  $V_{IN}$ , соотношением обмоток  $N_{IN}$  и  $N_{OUT}$ , а частота – таймером (400 нс) и индуктивностью первичной обмотки ( $L_{IN}$ ). Причём чем меньше будет индуктивность  $L_{IN}$ , тем выше будет частота.

Способ подключения трансформатора к контроллеру, показанный на рисунке 2а, используется в подавляющем большинстве схем, на основе которых строятся так называемые однотактные прямоходовые преобразователи (ОПП). Эти устройства на стороне вторичной обмотки содержат специальные схемы выпрямления, сглаживания выходного напряжения, сни-

жения уровня пульсаций (помимо сглаживающего LC-фильтра), а в некоторых случаях и линейные стабилизаторы со своими конденсаторами, препятствующими самовозбуждению.

На стороне первичной обмотки в ОПП используются специальные схемы, которые ограничивают выброс напряжения в индуктивности при выключении транзистора (показан на рисунке 3 красным цветом). Кроме того, для предотвращения насыщения сердечника трансформатора ОПП, показанного на рис. 2а, применяется схема рис. 2б (управление транзистором показано условно), содержащая дополнительную «размагничивающую» обмотку и диод. Эта обмотка должна быть включена встречно с основной (начало обмоток показано звёздочками). Количество витков основной и дополнительной обмоток, как правило, одинаково, однако оно может и различаться (вплоть до превышения в четыре раза). На рисунке 3 синим цветом показана зависимость напряжения первичной обмотки от времени при использовании дополнительной размагничивающей обмотки (схема рис. 2б). Как видно из графика, дополнительная обмотка (помимо размагничивающей функции) гасит выброс напряжения. Существуют и альтернативные схемы, выполняющие аналогичные функции [5].



## Зачем платить больше?

Коммерческие источники питания для военной техники

Низкая стоимость и короткие сроки поставки при соответствии военным стандартам

### Основные характеристики DC/DC-преобразователей серии МТС

- Диапазон входных напряжений 15,5...40 В
- Выходные напряжения от 3,3 до 28 В
- Выходные мощности от 5 до 150 Вт
- Диапазон рабочих температур -55...+100°C (основание корпуса)
- Электромагнитные помехи соответствуют требованиям MIL-STD-461E
- Импульсное перенапряжение и помехоустойчивость в соответствии с MIL-STD-1275A/B/C, 704A-F
- Стойкость к внешним воздействующим факторам в соответствии с требованиями MIL-STD-810F
- Сервисные функции: синхронизация частоты преобразования, дистанционное включение/выключение, регулировка выходного напряжения, внешняя обратная связь

**XP Power**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER

**PROSOFT®**



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

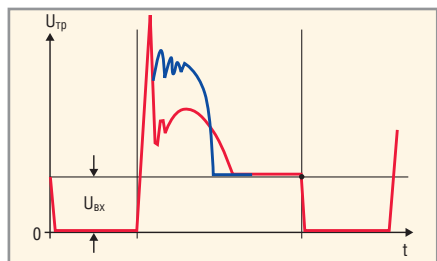


Рис. 3. Формы напряжений в первичной обмотке трансформатора (на стоке транзистора) [11]

Поскольку в нашем случае основными требованиями являются минимизация числа электронных компонентов и нагрева устройства, предпочтение было отдано схеме рис. 26, на основе которой была построена реальная схема DC/DC-преобразователя (см. рис. 4).

В схеме на рисунке 4 использован трансформатор (TP1), который намотан проводом ПЭЛО 0,1 на ферритовом кольце M1000HM размером 5 × 3 × 1,5 мм. Каждая из первичных обмоток (одна рабочая, вторая – «размагничивающая») содержит по 10 витков провода и имеет индуктивность 16 мкГн, вторичная обмотка содержит 20 витков. Дроссель L1 намотан проводом ПЭЛО 0,1 на ферритовом кольце M2000HM размером 5 × 3 × 1,5 мм. Его обмотка содержит 60 витков и имеет индуктивность 1,2 мГн. Этот дроссель совместно с конденсаторами C4 и C2 образует LC-фильтр, подавляющий ВЧ-пульсации выпрямленного напряжения.

Сам выпрямитель выполнен по мостовой схеме на двух парах диодов Шоттки типа BAT54CW (VD2, VD3) с общим катодом и BAT54AW (VD4, VD5)

с общим анодом. В качестве линейного стабилизатора (DA2) использована микросхема NCP4626 компании On Semiconductor в корпусе XDFN6 размером 1,6 × 1,6 мм [6]. Несмотря на малый размер, такой корпус имеет большую мощность рассеивания тепла (640 мВт), чем корпус SOT23-6 (420 мВт) большего размера (3 × 3 мм). Дело в том, что на дне корпуса XDFN6 предусмотрена металлическая теплоотводящая площадка, которая механически и электрически связана с печатной платой (припаяна к ней и соединена с «землей»). Все конденсаторы, используемые в схеме, – керамические, предназначенные для поверхностного монтажа; их размер и максимально допустимое напряжение указаны на схеме. Резистор R1 является начальной нагрузкой преобразователя на холостом ходу и ограничивает выходное напряжение выпрямителя на уровне 10 В. Размагничивающая обмотка соединена с входным напряжением через дополнительный диод Шоттки типа PMEG2020EJ (VD1) в корпусе SOD323 размером 2,5 × 1,2 мм. В качестве контроллера (DA1) использована микросхема TPS61040DBV в корпусе SOT23-5 размером 3 × 3 мм [4]. Малые размеры комплектующих позволили реализовать преобразователь на плате с габаритами 7 × 12 мм.

При использовании контроллера TPS61040DBV, имеющего максимальный ток выходного транзистора 400 мА, уровень пульсации выходного напряжения при нагрузке в 100 Ом (ток 50 мА) составил около 15 мВ.

При использовании микросхемы TPS61041DRV (DA1 на рис. 5) в новом корпусе SON-6 размером 2 × 2 мм (максимальный ток выходного транзистора ограничен значением в 250 мА), удалось снизить уровень пульсаций всего устройства до 5 мВ (размах). Снижение пульсаций объясняется тем, что частота работы микросхемы TPS61041 при максимальном токе нагрузки составляет около 1 МГц против примерно 600 кГц у микросхемы TPS61040. Корпус SON-6, несмотря на свой малый размер, рассеивает большую мощность (688 мВт), чем SOT23-6, за счёт теплоотводящей площадки. С увеличением тока нагрузки уровень пульсаций выходного напряжения не возрастает из-за повышения частоты преобразования.

Трансформатор (см. рис. 5) намотан тем же проводом и на таком же ферритовом кольце, что и для схемы рис. 4, но отличается числом витков. Каждая из двух первичных обмоток содержит по 11 витков провода и имеет индуктивность по 22 мкГн, вторичная обмотка содержит 22 витка. В остальном схема преобразователя на контроллере TPS61041 аналогична схеме на контроллере TPS61040 (см. рис. 4).

### ИЗОЛИРОВАННЫЙ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ 5 В/5 В НА КОНТРОЛЛЕРЕ SN6501

Контроллер SN6501 [7] является так называемым трансформаторным драйвером, предназначенным для изолированных DC/DC-преобразователей.

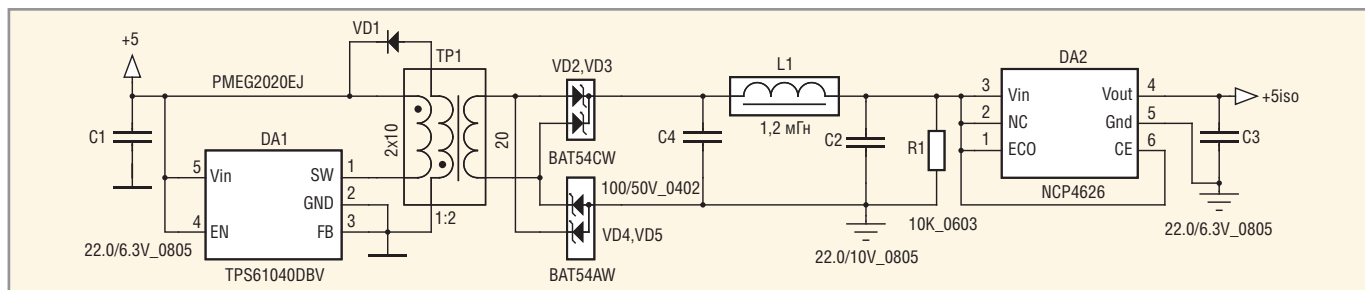


Рис. 4. Схема изолированного DC/DC-преобразователя 5 В/5 В на контроллере TPS61040DBV (корпус SOT23-5)

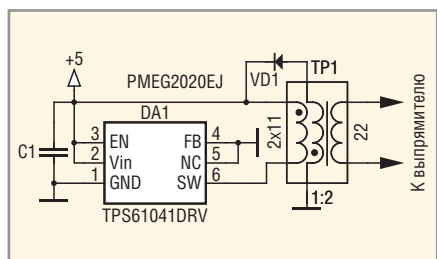


Рис. 5. Схема подключения к трансформатору контроллера TPS61041DRV (корпус SON-6)

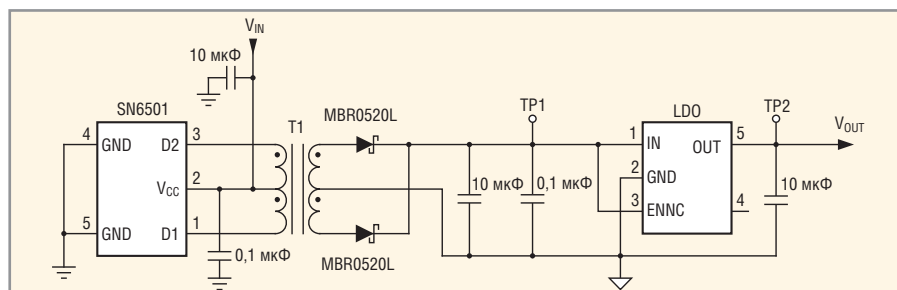


Рис. 6. Типовая схема включения контроллера SN6501 [7]

Это новейшая (2012 г.) разработка компании Texas Instruments. По своей структуре, принципу действия и основной схеме включения с трансформатором (см. рис. 6) SN6501 мало чем отличается от популярной микросхемы трансформаторного драйвера MAX253 [8]. Фактически SN6501 – несколько упрощенная версия MAX253, но с увеличенным выходным током (350 мА против 200 мА у MAX253), меньшим типовым значением сопротивления открытого транзистора (0,6 Ом против 1,5 Ом) и более высокой частотой преобразования при входном напряжении 5 В (410 и 620 кГц против 350 и 500 кГц соответственно). Но главное отличие SN6501 от MAX253 – более миниатюрный корпус. Если самым миниатюрным корпусом, в котором выпускается контроллер MAX253, является 8-μMAX размером 3 × 5 мм (MAX253EUA), то SN6501 размещён в корпусе SOT23-5 размером 3 × 3 мм. При максимальной рассеиваемой мощности 250 мВт (против 350 мВт у корпуса 8-μMAX), за счёт теплоотвода через «земляные» выводы (4 и 5 на рис. 6) преобразователь SN6501 в корпусе SOT23-5 нагревается до 40°C при

выходном токе 150 мА; при том же выходном токе MAX253EUA в корпусе 8-μMAX выдерживает всего несколько секунд, нагреваясь до 70°C, после чего выходит из строя.

Двухтактный режим работы SN6501 (как и MAX253) позволяет не заботиться о размагничивании сердечника. График типовой зависимости выходного напряжения от тока нагрузки при использовании схемы рис. 6 приведён на рисунке 7.

Незначительные, на первый взгляд, отличия электрических характеристик преобразователя SN6501 от MAX253, а также миниатюрный корпус первого, позволяют конструировать на основе SN6501 уникальные по своей простоте и миниатюрности DC/DC-преобразователи, обладающие ультранизким уровнем пульсаций выходного напряжения.

Стандартная схема выпрямления выходного напряжения, снятого с выходной обмотки трансформатора со средней точкой, с помощью двух диодов (см. рис. 6) кажется более экономичной по числу элементов по сравнению с мостовой схемой выпрямления (см. рис. 4). Однако схема со средней точ-

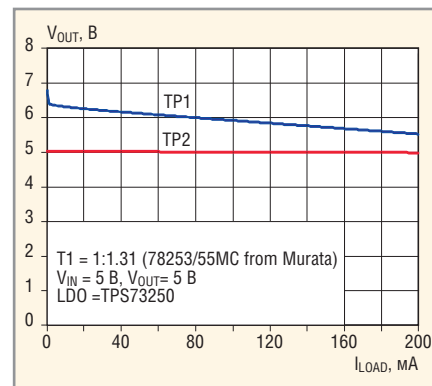


Рис. 7. График зависимости выходного напряжения в точках TP1 и TP2 (см. рис. 6) от тока нагрузки [7]

кой требует двух идентичных вторичных обмоток, тогда как мостовая схема – только одной. Поэтому в описываемых устройствах использована мостовая схема выпрямления на четырёх диодах.

Схема изолированного DC/DC-преобразователя 5 В/5 В со стабилизированным выходом и максимальным током нагрузки в 100 мА приведена на рисунке 8. В ней использован контроллер SN6501 (DA1), выпрямительные диоды PMEG2020 (VD1-VD4), стабилизатор с малым падением напряжения

## Взрывозащищённые соединители Explora

### Надёжная защита

ВЗРЫВООПАСНО

**Количество контактов:** 2, 3, 4, 5, 7, 10

**Электрические характеристики:**  
10...18 А, 250...600 В AC/DC

**Диапазон рабочих температур:** –20...+50°C

**Степень защиты:** IP68

**Взрывозащищённость:** для зон 2 и 22

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ BULGIN

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Тел.: (495) 232-2522 • Факс: (495) 234-0640 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

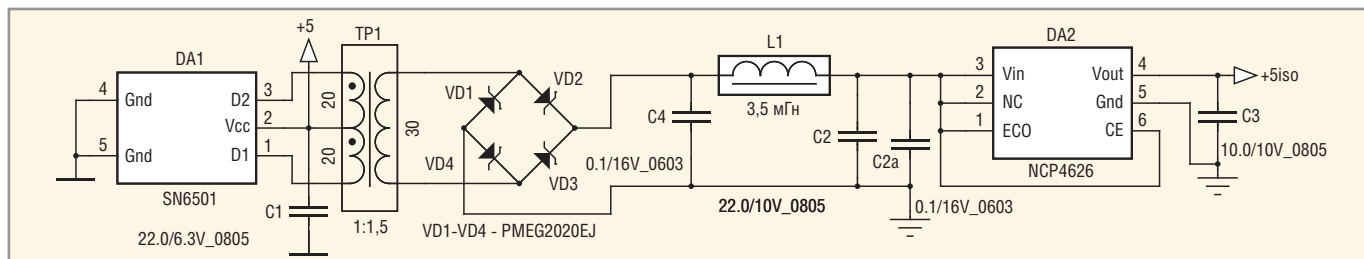


Рис. 8. Реальная схема изолированного DC/DC-преобразователя 5 В/5 В на контроллере SN6501

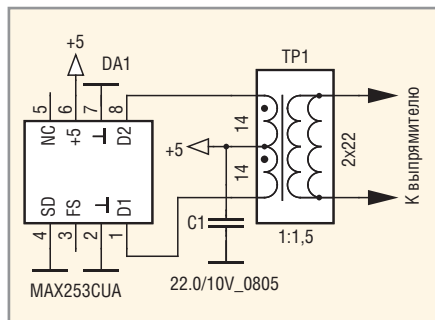


Рис. 9. Схема подключения MAX253 к трансформатору

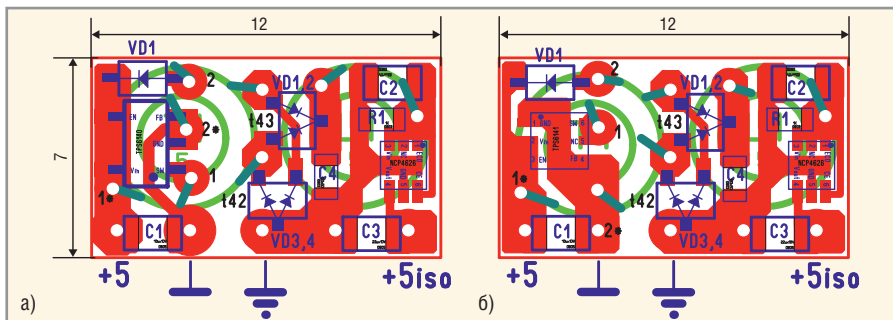


Рис. 10. Разводка плат DC/DC-преобразователей на контроллере TPS61040/41  
а – в корпусе SOT23-5(TPS61040/41DBV), б – в корпусе SON-6(TPS61040/41DRV)

(0,15 В при токе 100 мА) NCP4626 (DA2) в малогабаритном корпусе XDFN6 размером 1,6 × 1,6 мм. Трансформатор TP1 намотан на ферритовом кольце размером 5 × 3 × 1,5 мм. Марка феррита – M2500НМС-1. Каждая из первичных обмоток содержит по 20 витков провода марки ПЭПШО-0,08 и имеет индуктивность около 200 мкГн. Этот провод, во-первых, имеет двойную изоляцию, во-вторых, при диаметре внутренней медной жилы 0,08 мм его внешний диаметр около 0,16 мм. По сравнению с ним, распространённый провод марки ПЭЛШО-0,06 имеет внешний диаметр около 0,19 мм. Такая разница является существенной, поскольку на ферритовое кольцо диаметром 4 мм (K4 × 2,5 × 1,2) можно намотать 80 витков провода ПЭПШО-0,08 до полного заполнения внешней цилиндрической поверхности кольца вместо 64 витков ПЭЛШО-0,06, что соответствует индуктивности около 1,5 мГн против 1 мГн. Кроме того, при зачистке провода ПЭПШО с помощью обжига, волокнистая обмотка этого провода (так же, как и провода ПЭЛО) не разматывается, а оплачивается каплей.

В схеме присутствует LC-фильтр на базе конденсаторов C4, C2 и C2a и дросселя L1, который существенно подавляет ВЧ-пульсации выпрямленного напряжения. Дроссель L1 намотан проводом ПЭЛО-0,1 на таком же кольце, что и основной трансформатор, содержит 80 витков провода и имеет индуктивность 3,5 мГн. Все конденсато-

ры – керамические для поверхностного монтажа; их размеры указаны на рисунке 8. Выпрямленное напряжение холостого хода составляет около 6 В. Это напряжение плавно снижается приблизительно до 5,4 В при нагрузке в 50 Ом, т.е. при токе 100 мА. Пульсация напряжения с частотой 500 кГц при токе в 100 мА составляет не более 0,5 мВ (!). Вместо кольца M2500НМС-1 K5 × 3 × 1,5 можно использовать более распространённое M2000НМ K5 × 3 × 1,5. В этом случае каждая из двух первичных обмоток должна содержать по 23–24 витка провода ПЭПШО-0,08 (200 мкГн), а вторичная обмотка – до 40 витков этого же провода. При использовании кольца из феррита M2000НМ пульсация возрастает до 2 мВ.

Для трансформатора можно взять достаточно распространённое и недорогое кольцо Epcos N87 R6,3 × 3,8 × 2,5. В этом случае каждая из двух первичных обмоток должна содержать по 4 витка провода ПЭЛ-0,125 (при этом индуктивность составляет 225 мкГн), а вторичная – 22 витка, намотанные двойным проводом того же диаметра. Электрические параметры преобразователя при этом соответствуют кольцу M2500НМС-1 K5 × 3 × 1,5, но габариты устройства увеличиваются, и на плате можно установить контроллер MAX253CUA в корпусе 8-μMAX. Схема подключения этого контроллера к аналогичному трансформатору показана на рисунке 9. При использовании контроллера MAX253 схема преобразователя остаётся прежней

(см. рис. 8), за исключением дросселя L1 на кольце M2000НМ K4 × 2,5 × 1,2, обмотка которого содержит 80 витков провода ПЭПШО-0,08 и имеет индуктивность 1,5 мГн. При нагрузке в 50 Ом (выходной ток 100 мА) ВЧ-пульсации составляют около 7 мВ – сказывается более низкая рабочая частота контроллера MAX253.

Для дополнительного уменьшения габаритов преобразователя на базе SN6501 вместо диодов PMEG2020 можно использовать PMEG2010, а для дросселя L1 – кольцо M2000НМ K4 × 2,5 × 1,2 (80 витков ПЭПШО-0,08; 1,5 мГн). Электрические параметры преобразователя сохраняются.

Эффективность работы трансформатора и, в конечном счете, уровень пульсаций выходного напряжения всего устройства зависит от того, насколько качественно произведена намотка кольца. Во-первых, после намотки первичных обмоток следует измерить их индуктивность, которая должна быть в пределах 195...210 мкГн. Во-вторых, после намотки вторичной обмотки необходимо измерить напряжение на входе линейного стабилизатора (DA2 на рис. 8), т.к. оно зависит от числа витков вторичной обмотки, качества намотки, марки феррита кольца и типа используемых выпрямительных диодов (PMEG2020 или PMEG2010). Это напряжение должно находиться в пределах 5,4...5,6 В при токе 100 мА. Если напряжение превышает 5,6 В, контроллер и диоды будут нагреваться и возрастёт уровень пуль-

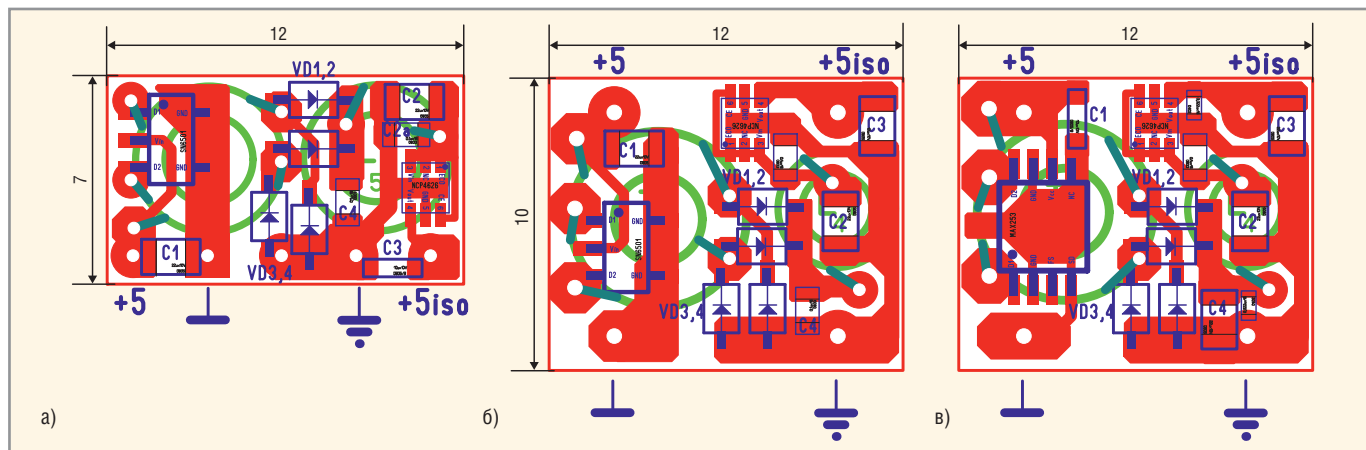


Рис. 11. Разводка плат DC/DC-преобразователей с использованием контроллера SN6501, кольца M2500HMC1 K5×3×1,5 (а) и EPCOS N87 R6,3×3,8×2,5(б); контроллера MAX253 и кольца EPCOS N87 R6,3×3,8×2,5 (в)

саций. Если напряжение менее 5,4 В, уровень пульсаций также возрастёт из-за фактического отключения линейного стабилизатора. Поэтому к выходу преобразователя необходимо подключить резистор 51 Ом мощностью 2 Вт и измерить входное напряжение стабилизатора. Если оно меньше 5,4 В, необходимо домотать несколько витков вторичной обмотки, если больше – отмотать. Идеальное напряжение на входе линейного стабилизатора – 5,5 В.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ УСТРОЙСТВ

Основой всех DC/DC-преобразователей, описанных в статье, является ВЧ-трансформатор на ферритовом кольце. Помимо трансформатора, на ферритовых кольцах изготовлены дроссели, подавляющие пульсации выходного напряжения. Практически все используемые ферритовые кольца – отечественные, марок M1000HM, M2000HM и M2500HMC-1, размером 5×3×1,5 мм. Исключением является кольцо марки EPCOS N87 размером

6,3×3,8×2,5 мм и одно кольцо марки M2000HM размером 4×2,5×1,2 мм, используемое для дросселя.

К сожалению, отечественные кольца изготавливаются без покрытия, имеют достаточно острые кромки и многочисленные неровности, поэтому нуждаются в скруглении острых кромок. У аккуратно обработанного кольца должны сохраняться как внешний, так и внутренний диаметр. Достаточно небольшого скругления кромок, чтобы не допустить повреж-





Активный компонент вашего бизнеса

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

**ПРОСОФТ предлагает**


- Различные решения по подбору элементной базы
- Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- Оптимизацию схемотехнических решений
- Оказание технической и информационной поддержки









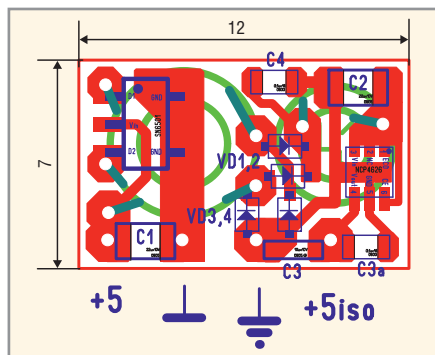






Тел.: (495) 232-25-22 • [info@prochip.ru](mailto:info@prochip.ru)



**Рис. 12.** Разводка платы DC/DC-преобразователя с использованием контроллера SN6501 и диодов PMEG2010AEB в корпусе SOD523

дения изоляции провода при намотке.

Кольцо EPCOS N87 R6,3 × 3,8 × 2,5 выполнено со скруглёнными кромками и имеет диэлектрическое покрытие из специального материала – парилена, выдерживающего относительно высокую температуру. Поэтому на это кольцо можно наматывать провод типа ПЭЛ.

На обработанные отечественные кольца также можно наматывать провод ПЭЛ, не боясь повредить его изоляцию, но рекомендуется использовать обмоточный провод с двойной изоля-

цией (ПЭЛШО, ПЭЛО или ПЭПШО). Если обработанное кольцо покрыть несколькими слоями цапонлака или обмотать двойным слоем ленты ФУМ, то с небольшим ухудшением надёжности можно использовать и провод типа ПЭЛ. В нашем случае хороший результат обеспечил провод ПЭЛ-0,125.

Обмотки должны быть выполнены следующим образом:

- на внешней цилиндрической поверхности кольца витки должны располагаться в один слой, без зазора («виток к витку»), на внутренней поверхности – возможно и в два слоя. Такая обмотка максимально захватывает магнитный поток;
- края обмоток должны быть хорошо закреплены, а выводы должны быть сосредоточены ближе к середине обмотки;
- между концами первичных и вторичных обмоток на внутренней поверхности кольца необходимо оставить зазор не менее 0,8...1 мм для достижения необходимой изоляции входного и выходного напряжения;
- обмотки со средней точкой следует наматывать двойным проводом. После намотки конец первой обмот-

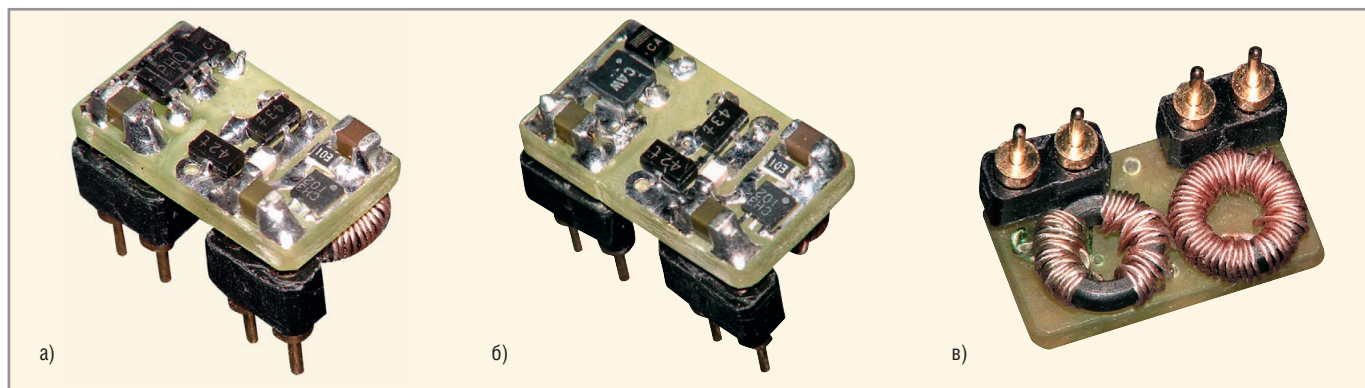
ки необходимо соединить с началом второй – это и будет средняя точка.

Разводка всех печатных плат, приведённых в статье, сделана автором с использованием программы Sprint LayOut 5.1. Фотошаблоны плат напечатаны принтером Canon Pixma MG5140 на прозрачной плёнке Avery Zweckform Z2503, а сами платы изготовлены по технологии, подробно описанной в [9, 10].

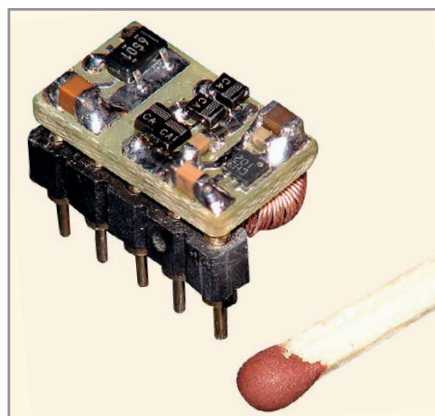
После распайки компонентов плата промывается изопропиловым или техническим этиловым спиртом и покрывается несколькими слоями цапонлака. Трансформатор и дроссель приклеиваются к обратной стороне платы липкой двухсторонней лентой, цапонлаком или любым клеем, начиная от «Момент» и заканчивая эпоксидной смолой.

Для выводов устройств автор использовал позолоченные цапговые штыри типа PSLM-40 с шагом 2,54 мм. Тогда при проверке и настройке преобразователь легко вставляется в одну из сторон цапговой DIP-панельки. В серийных изделиях разъёмные соединения можно не применять.

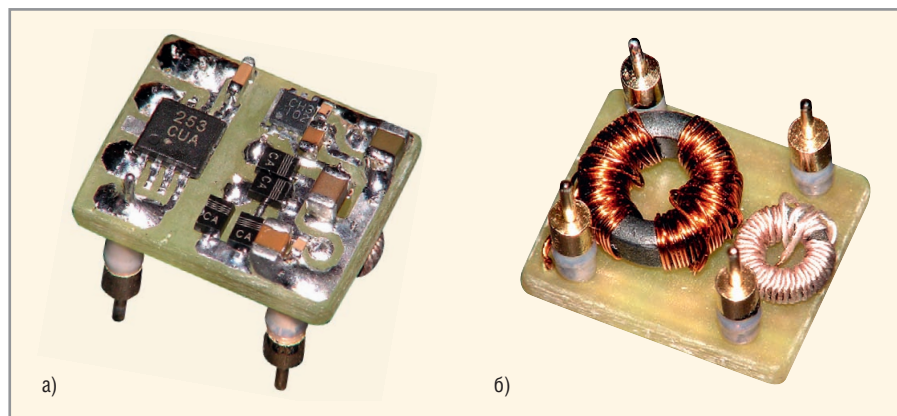
На рисунках 10–12 показана разводка плат, а на рисунках 13–16 – фотографии готовых устройств. На рисун-



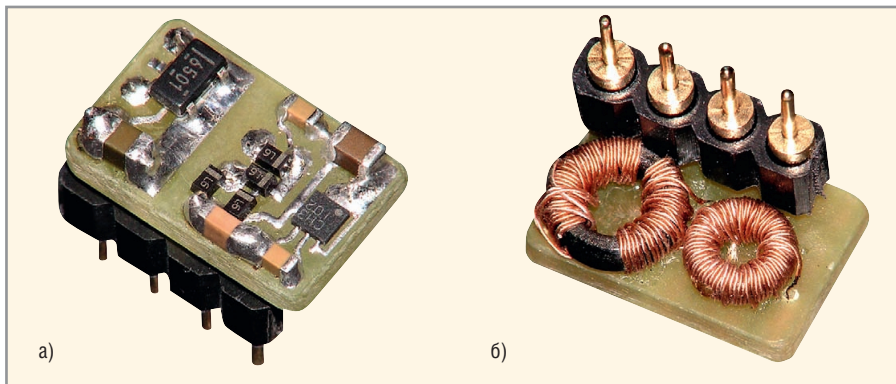
**Рис. 13.** Фотографии готовых устройств на контроллере TPS61040/41  
а – в корпусе SOT23-5 (TPS61040DBV), б – в корпусе SON-6 (TPS61041DRV), в – обратная сторона устройств



**Рис. 14.** Фотография изолированного DC/DC-преобразователя 5 В/5 В на контроллере SN6501 с использованием диодов PMEG2020



**Рис. 15.** Фотография изолированного DC/DC-преобразователя 5 В/5 В на контроллере MAX253 с кольцом EPCOS N87 R6,3 × 3,8 × 2,5  
а – сторона платы с расположением компонентов, б – обратная сторона устройства



**Рис. 16. Фотография изолированного DC/DC-преобразователя 5 В/5 В на контроллере SN6501 с использованием диодов PMEG2010AEB**

а – вид устройства со стороны расположения компонентов, б – обратная сторона устройства

ке 14 для сравнения положена обычная спичка. Обратная сторона устройства, показанного на рисунке 14, аналогична рисунку 13в, поэтому не приводится. Устройство, разводка которого показана на рисунке 12, а фотографии – на рисунке 16, является самым миниатюрным (7 × 11 мм). В подрисуночных подписях приведена информация о разводке печатных плат.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По сравнению с DC/DC-преобразователями, предлагаемыми многи-

ми фирмами, представленные в настоящей статье устройства отличаются миниатюрностью, сверхмалым уровнем пульсаций и низкой себестоимостью. Такие параметры получены благодаря использованию новейших микросхем (SN6501), простоте схемных решений и технологии изготовления, доступной даже новичку.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кузьминов А. Применение ИС цифровых изоляторов ADUM7441 и ADUM3473 для галь-

ванической развязки интерфейса RS-232. Современная электроника. 2011. № 9.  
 2. Староверов К. DC/DC-преобразователи со встроенным ключом от Texas Instruments. Новости электроники. 2007. № 18.  
 3. www.chipfind.ru.  
 4. TPS61040, TPS61041 Datasheet. 2010. www.ti.com.  
 5. Мэк Р. Импульсные источники питания: Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению. Додэка-XXI, 2008.  
 6. NCP4626 Datasheet. 2010. www.onsemi.com.  
 7. SN6501 Datasheet. 2012. www.ti.com.  
 8. MAX253 Datasheet. 2010. www.maximic.com.  
 9. Кузьминов А. Метод фоторепродуцирования для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 5–7.  
 10. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 8–10.  
 11. Гончаров А. Начальная школа построения импульсных DC/DC-преобразователей (второй класс). Электронные компоненты. 2002. № 7.



**TDK-Lambda ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ**  
**МОЩЬ И ИНТЕЛЛЕКТ**



Серия ZUP



Серия Genesys™

**Применения ZUP и Genesys™**

- Автоматическое испытательное оборудование
- Управление технологическими процессами
- Электротренировка полупроводниковых изделий
- Лазеры

**Серия ZUP (Zero-Up), Z+ (Z plus)**

- Выходная мощность 200/400/800 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485
- Универсальный вход 85–265 В переменного тока
- Выходные напряжения до 120 В, ток нагрузки до 132 А
- Программная калибровка
- Опциональные интерфейсы, LAN, GPIB и аналоговые сигналы с гальванической развязкой (для Z+)
- 16-разрядное разрешение и быстрый отклик на программируемые установки (для Z+)

**Серия Genesys™**

- Выходная мощность 750/1500/2400/3300/5000/10 000/15 000 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485 (GPIB IEEE488/488.2 SCPI, LAN по заказу)
- Выходные напряжения до 600 В, ток нагрузки до 1000 А
- Конфигурирование посредством внешнего напряжения/тока и ПО
- Драйверы LabView и LabWindows
- Высота 1U, 2U и 3U

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ TDK-LAMBDA



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



Реклама

# Предтопологический анализ целостности сигналов в среде Cadence Allegro PCB SI

Анатолий Сергеев (Москва)

В статье рассказывается о программных решениях Cadence Allegro PCB SI, предназначенных для анализа целостности сигналов на платах быстродействующих устройств. Возможности данного продукта позволяют инженерам минимизировать влияние паразитных параметров печатного монтажа на целостность сигналов, значительно сократить сроки выхода на рынок новых устройств, обеспечить их высокое качество и надёжность. Рассмотрены приёмы работы в среде Allegro PCB SI, демонстрирующие некоторые возможности пакета.

## ВВЕДЕНИЕ

Программный пакет Allegro PCB SI объединяет в себе возможности проектирования и моделирования печатных плат быстродействующих устройств. Тесная интеграция с редактором топологии Allegro PCB Editor и схемным редактором Allegro Design Entry HDL позволяет инженерам проводить верификацию проекта на всех этапах его разработки. Это важно, поскольку чем раньше в цикле проектирования будут найдены и устранены проблемы, связанные с целостностью сигналов, тем меньше будут затраты на устранение этих проблем на этапах физического прототипирования и производства. Пакет PCB SI включает в себя несколько приложений (см. ниже), которые решают определённый круг задач:

- *PCB SI* – редактор для компоновки платы и трассировки наиболее критичных цепей перед тем, как проект будет передан инженеру по топологии.
- *Signal Explorer* – графическая среда для исследования, анализа и создания вариантов электрических соединений. Здесь в максимально доступном виде отображаются все электрические модели, входящие в состав одной или нескольких цепей, т.е. проводники, переходные отверстия, источники и приёмники сигналов и т.д. *Signal Explorer* имеет встроенный процессор под названием Transmission Line Simulator (TLSim) – симулятор линий передачи; TLSim работает с моделями линий передач, моделями устройств

(IBIS и DML), Spice-моделями и S-параметрами. Он не может моделировать работу схем с моделями, описанными на уровне транзисторов;

- *Signal Noise* – модуль, предназначенный для быстрого анализа сигналов на плате на предмет наличия отражений или оценки перекрёстных помех во всём проекте или в некоторой группе сигналов. Результатом работы *SigNoise* являются подробные текстовые отчёты, где можно видеть результаты расчётов, а также осциллограммы;
- *Constraint Manager* – система контроля ограничений в проекте; является общей для всей базы данных проекта на схемном и физическом уровнях. *Constraint Manager* управляет компоновкой, размещением и интерактивной трассировкой в реальном времени или в пакетном режиме. Здесь отображаются результаты расчётов задержек сигналов на плате, импеданса, дифференциальных пар и т.д.;
- *Signal Wave* – виртуальный осциллограф и редактор графиков. Здесь можно обработать результаты анализа, расставить контрольные точки, посмотреть уровни сигналов на различных временных интервалах, отобразить спектр сигнала, диаграмму и т.д.;
- *Model Editor* – редактор моделей компонентов, используемых при анализе целостности. Помимо стандартных возможностей текстового редактирования, включает такие функции, как тестирование моделей и вывод результатов в графической форме через *SigWave*.

## ПЕРЕДАЧА ТОПОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

На схемотехническом уровне под топологией понимается не готовая физическая реализация цепи с проводниками и переходными отверстиями, которой ещё нет, а набор электрически идеальных моделей, составляющих цепь. Сюда входят соединения между выводами, нагрузки, источники напряжения, источники и приёмники сигналов. Для предтопологического модели-

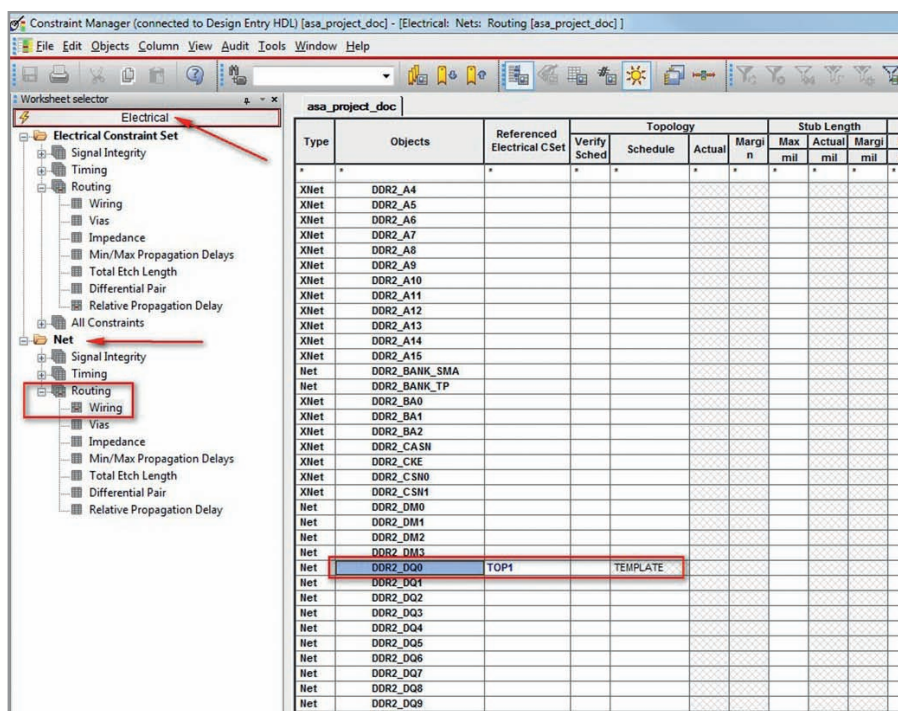


Рис. 1. Система управления ограничениями Constraint Manager

рования любое соединение между выводами может быть представлено в виде идеальных линий передачи со значениями задержки и импеданса, принятыми по умолчанию в Allegro PCB SI.

Предположим, имеется плата с несколькими высокоскоростными интерфейсами, среди которых присутствует DDR2. По этому интерфейсу специализированная ИС соединяется с микросхемой памяти. Посмотрим, каким образом можно передать топологию для одного бита данных из DDR2 в Signal Explorer для проведения предположительного анализа целостности. Будем варьировать сопротивления согласующих резисторов и добиваться оптимальной формы сигнала во временной области.

Процедура передачи топологии в Signal Explorer выглядит следующим образом:

- 1) на схеме в Design Entry HDL перейдём в Constraint Manager через меню *Tools* → *Constraints* → *Edit*;
- 2) в электрическом домене перейдём в директорию Net и выберем таблицу *Routing* → *Wiring*. Сама таблица отобразится справа от менеджера таблиц. Здесь нас интересует сигнал

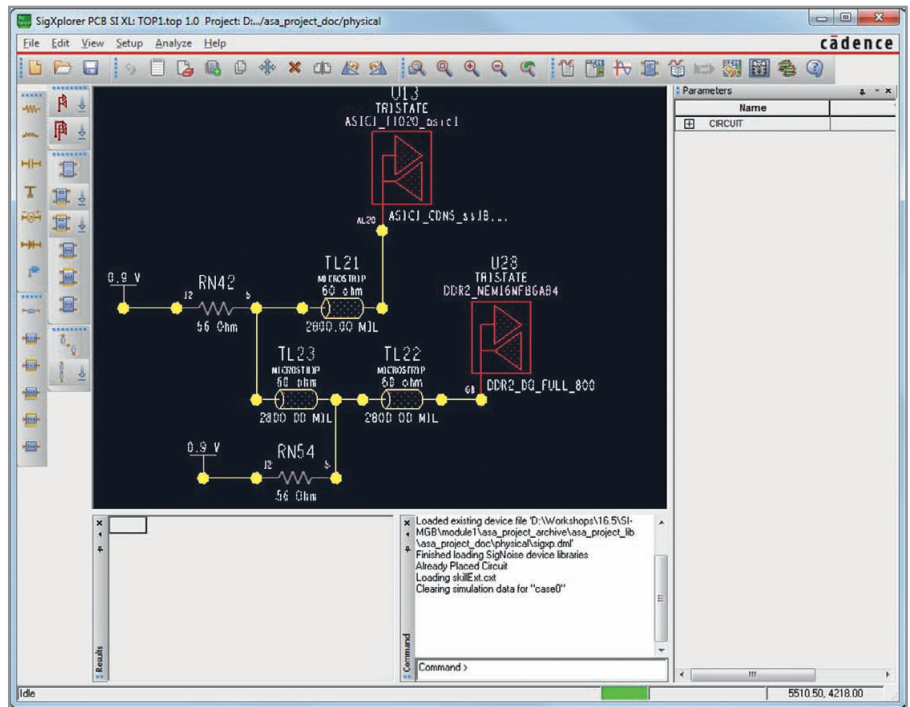


Рис. 2. Программа для анализа целостности сигналов Signal Explorer

DDR2\_DQ0; выберем его в списке (см. рис. 1);

- 3) далее достаточно нажать правую кнопку мыши и выбрать *SigXplorer...* либо на панели инструментов нажать кнопку . С помощью этой

процедуры выбранная цепь со всеми её составляющими будет передана для анализа в *Signal Explorer*. Необходимо сделать уточнение, что, прежде чем передавать цепь, её следует подготовить, а именно, на-

Используете морально устаревшие САПР?



Ваш пропуск в мир скоростей

**OrCAD PCB Designer**

современные технологии проектирования  
и взгляд в будущее



функциональность  
масштабируемость  
интегрированность  
интернет-приложения  
оптимальная цена

Реклама

cādence®

Техническая поддержка Обучение Дизайн-проекты

Тел.: +7 (495) 943-50-32, www.orlda.ru

оркада

CADENCE CHANNEL PARTNER

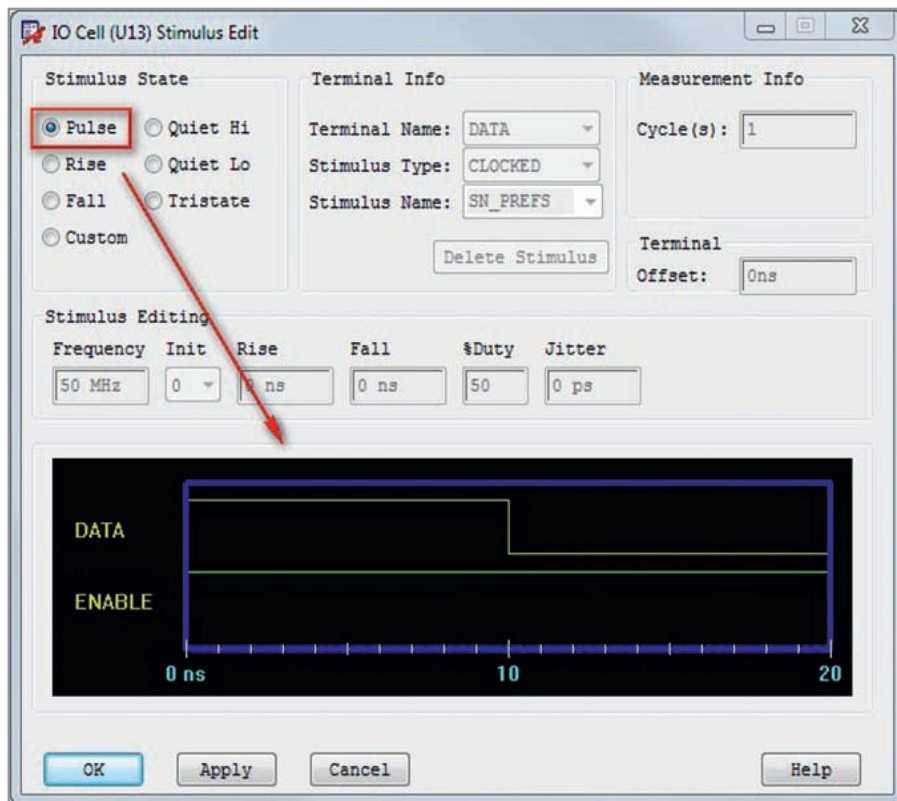


Рис. 3. Настройка источника сигнала в Signal Explorer

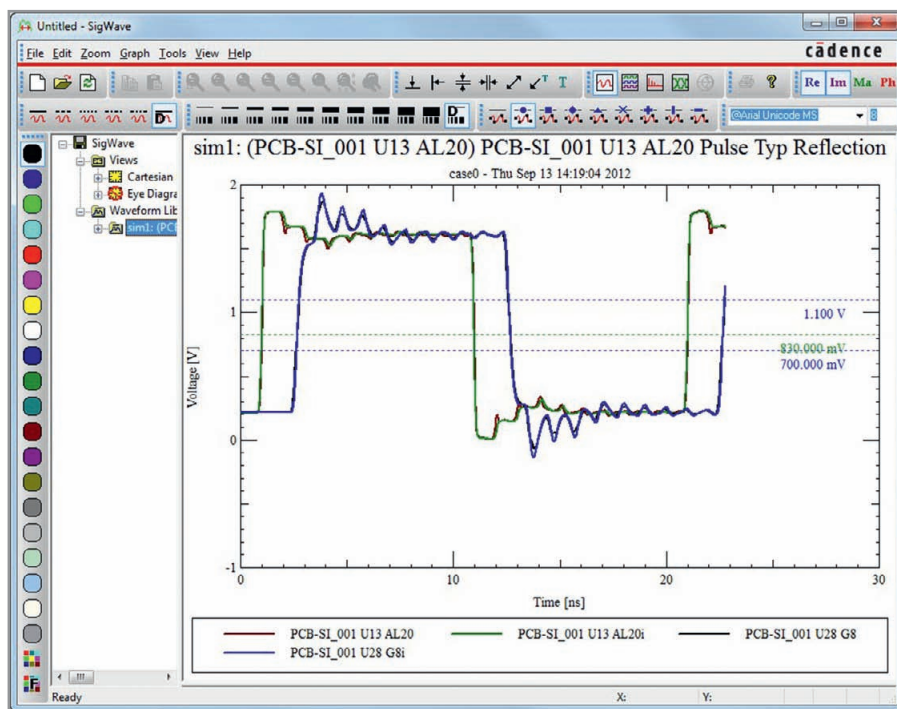



Рис. 4. Результат моделирования в SigWave

значить модели компонентам и указать напряжение. Правильно подготовленные библиотеки и настроенный проект почти всегда гарантируют минимальное количество настроек перед моделированием. В нашем случае для упрощения мы рассматриваем отлаженную ранее схему;

4) в окне *Signal Explorer (Topology Editor)* отобразится электрическая модель


цепи (см. рис. 2). Видно, что цепь состоит из передающего и принимающего буферов (U13, U28), соединённых с идеальными линиями передачи (TL21 – TL23) с параметрами по умолчанию – задержкой 0,5 нс (2800 Мил) и импедансом 60 Ом. Также на схеме присутствуют нагрузочные резисторы (RN42 и RN54) и источники постоянного напряжения 0,9 В;

5) перед моделированием необходимо настроить параметры сигнала в драйвере. Для этого кликнем текст TRISTATE на верхней части символа U13. В появившемся окне в секции *Stimulus State* выберем *Pulse* и нажмем OK для завершения настройки (см. рис. 3);

6) для запуска моделирования из окна *Signal Explorer* можно нажать кнопку  на панели инструментов. По окончании моделирования переходного процесса в окне *SigWave* автоматически появится осциллограмма (см. рис. 4).

Основная задача предтопологического моделирования заключается в выборе оптимальных согласующих резисторов на концах линий передачи. Другая важная задача – выбор импеданса, который обеспечит минимальное отражение сигнала и низкий уровень помех. В *Signal Explorer* есть инструменты, позволяющие варьировать значения вышеуказанных параметров. Кроме того, вы можете установить зависимость изменения одного или нескольких параметров друг от друга для различных моделей.

Для подбора оптимальных нагрузочных резисторов поступим следующим образом:

1) на панели *Parameters* в окне *Signal Explorer* раскроем список параметров элементов топологии. Для начала нас интересует резистор RN54. Выберем *Circuit* → *PCB\_SI\_001* → → *RN54*. Ещё быстрее это можно сделать, если выбрать значение сопротивления на самом резисторе в рабочем поле программы. Щёлкнем значение «54 Ом» на панели *Parameters*, а затем кнопку  рядом с этим значением (см. рис. 5);

2) чтобы проверить уровень сигнала для разных нагрузок, необходимо задать диапазон значений сопротивления, в пределах которого будет выполнено исследование сигнала. В окне *Set Parameters: Resistance* в секции *Linear Range* установим предел от 50 до 62 Ом с числом итераций моделирования 5 (см. рис. 6);

3) для резистора R42 установим значения сопротивлений при моделировании такие же, как и для R54. Это можно сделать с помощью выражения в нижней части окна *Set Parameters: Resistance* для R42. Выберем в списке *Variables RN54.resistance* и внесём его в поле *Expression* с помощью кнопки *Append Var*

(см. рис. 7). Это сократит количество итераций с 25 до 5, что значительно упростит поиск решения для данного случая;

- 4) теперь, как и в прошлый раз, выберем *Analyze* → *Simulate*. При этом появится окно *Sweep Sampling*, где будет предложено ещё раз указать число итераций моделирования, необходимое для выполнения заданной вариации параметров. Нажмем *Continue*, и в нижней части окна *Signal Explorer* на панели *Results* появятся результаты вычислений согласно выбранным значениям сопротивлений нагрузочных резисторов (см. рис. 8).

Видно, что каждому шагу моделирования был присвоен номер в столбце *SimID*. Выбирая шаги из списка, можно просматривать осциллограмму, соответствующую каждому результату. Достаточно нажать правую кнопку мыши и выбрать *View Waveform* для вывода графических данных. Можно выбрать несколько результатов или сразу все и просмотреть их в окне *Sig-Wave* на одном графике. На панели *Results* автоматически появляются вычисления для широкого набора характеристик сигнала, таких как выбег (*Overshoot*), на которые можно ориентироваться при нахождении оптимального варианта. После просмотра результатов необходимо выбрать меню *Edit* → *Transform For Constraint Manager* для приведения всех параметров к значениям по умолчанию и установки ограничений.

Варьируя параметры и характеристики различных элементов цепи в *Signal Explorer*, инженер по целостности сигналов добивается оптимального вида исследуемого сигнала. Характеристики сохраняются в виде шаблона ограничений и могут быть автоматически переданы в *Constraint Manager*. Посмотрим, каким образом можно указать дополнительные ограничения через *Signal Explorer* для нашего сигнала *DDR\_DQ* и затем применить их для всей 32-битной шины *DDR2* в проекте:

- 1) для начала выберем из меню *Signal Explorer* окно для указания ограничений *Setup* → *Constraints*. На каждой из вкладок можно указать определённый вид ограничений. Установим значения для минимального и максимального уровней относительной задержки сигнала. Для этого перейдём на вкладку *Prop Delay*;

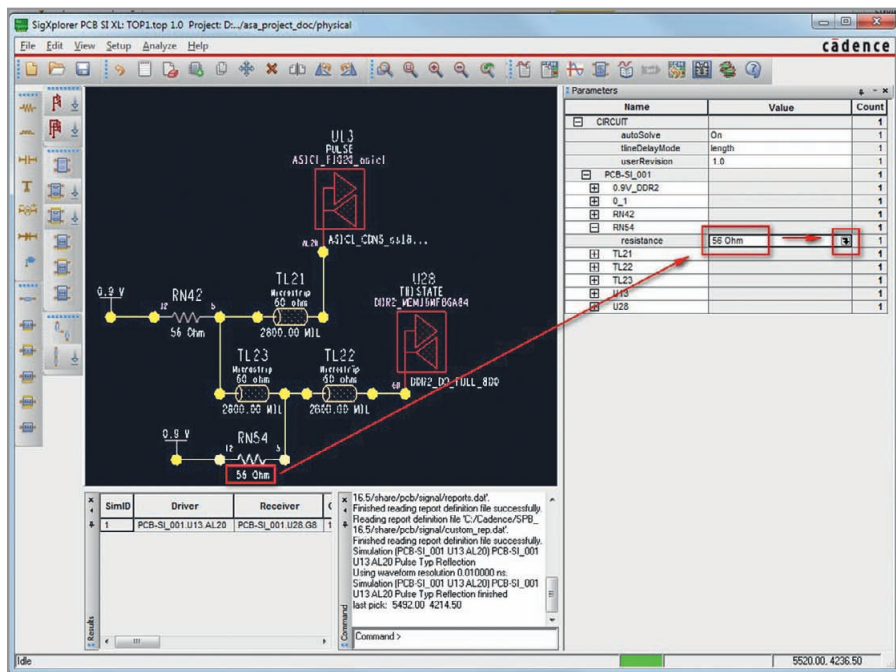


Рис. 5. Настройка параметров моделей в Signal Explorer

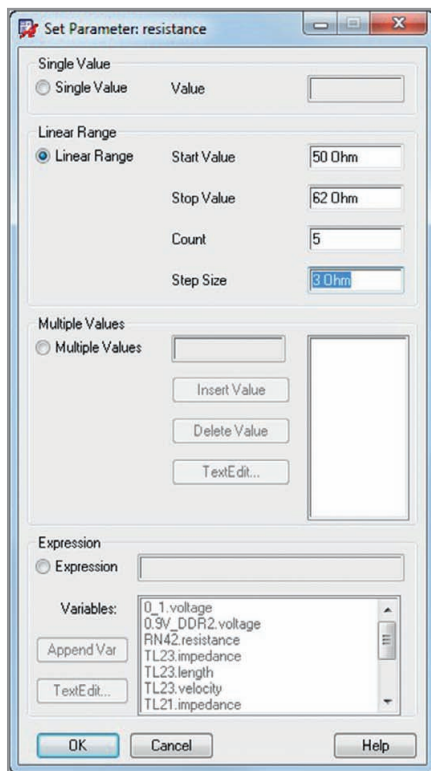


Рис. 6. Настройка диапазона значений сопротивления для нагрузочных резисторов

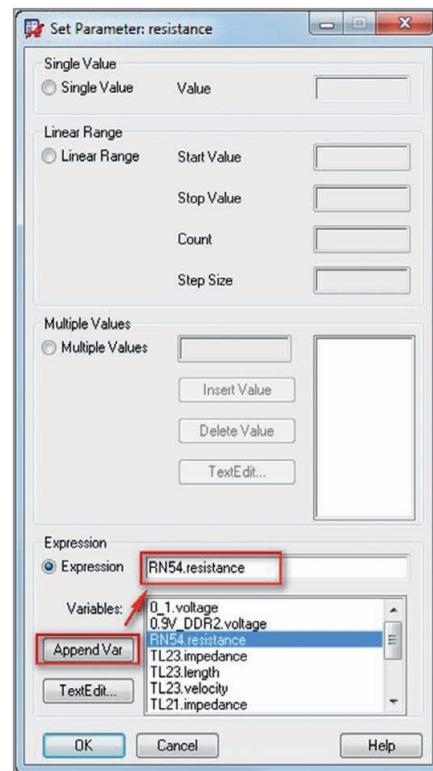


Рис. 7. Установка связи между параметрами нескольких резисторов

- 2) теперь необходимо указать пару выводов, между которыми будет контролироваться задержка. Для этого в поле *Pins/Tees* выберем *U13.AL20*, а затем *U28.G8*. Эти наименования автоматически появятся в секции *Rule Editing*, расположенной справа (аналогично выводы можно выбирать мышью непосредственно на рабочем поле программы);
- 3) в списке *Rule* выберем *Length*, т.е. будем указывать задержку в единицах длины

проводников. Укажем 2800 Мил для минимальной длины и 3300 Мил для максимальной длины. Затем нажмём *Add*, и новое ограничение появится в поле *Existing Rules* сверху (см. рис. 9);

- 4) передадим ограничения *Constraint Manager* в схемотехнический редактор *Design Entry HDL*. Для этого в *Signal Explorer* выберем *File* → *Update Constraint Manager* или нажмём кнопку . Эта процедура отправит новый шаблон ограничений в базу

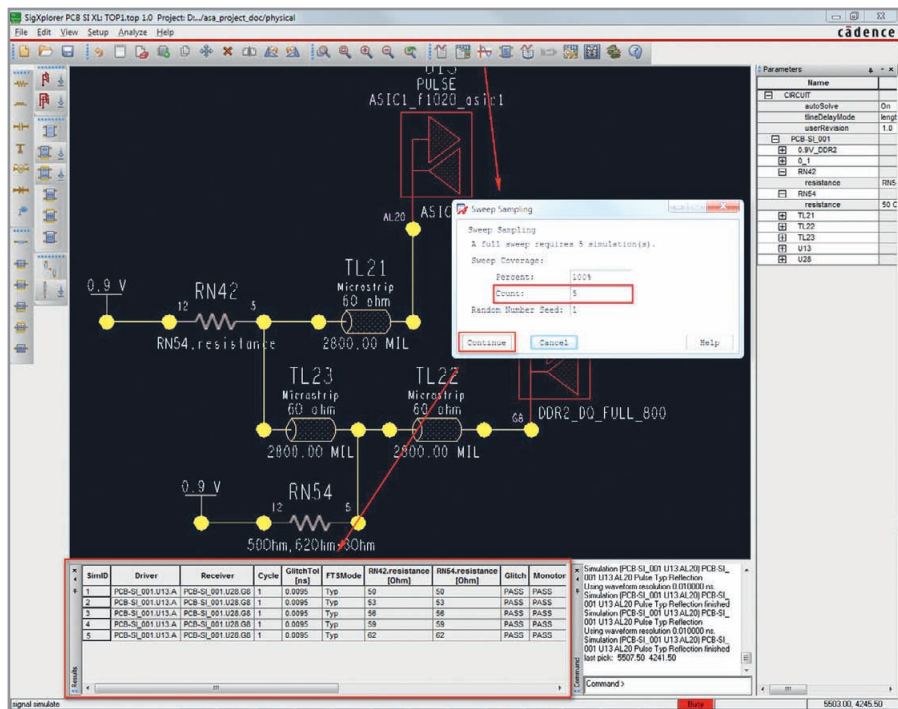


Рис. 8. Результаты анализа на панели Results в окне Signal Explorer

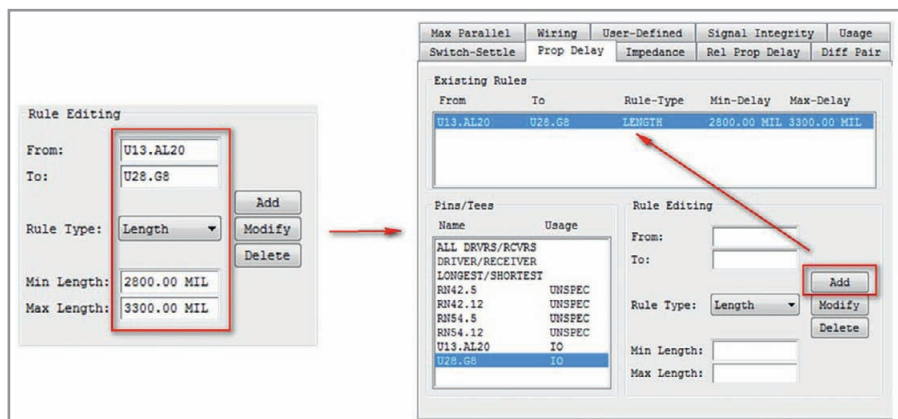


Рис. 9. Установка ограничений на задержку сигналов в Signal Explorer

Type	Objects	Referenced Electrical Cset	Topology				Stro Length			Exposed Length		
			Verify Sched	Schedule	Actual	Margi n	Max mil	Actual mil	Margi mil	Max mil	Actual mil	Margi mil
XI net	DDR2_CKE											
XI net	DDR2_CS#0											
XI net	DDR2_CS#1											
Net	DDR2_DM0											
Net	DDR2_DM1											
Net	DDR2_DM2											
Net	DDR2_DM3											
Net	DDR2_DQ0	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ1	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ2	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ3	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ4	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ5	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ6	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ7	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ8	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ9	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ10	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ11	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ12	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ13	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ14	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ15	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ16	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ17	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ18	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ19	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ20	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ21	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ22	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ23	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ24	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ25	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ26	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ27	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ28	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ29	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ30	TOP1		TEMPLATE								
Net	DDR2_DQ31	TOP1		TEMPLATE								
XI net	DDR2_ODT	TOP1										
XI net	DDR2_RASN	(Clear)										
Net	DDR2_SYNC_CLK											

Рис. 10. Назначение шаблона электрических ограничений для цепей в Constraint Manager

Constraint Manager в проекте для цепи DDR2\_DQ0. Также на экране появится отчёт с информацией о переданных ограничениях Electrical CSet Apply Information. По окончании процедуры будет предложено сохранить шаблон с ограничениями в файле с расширением TOP. В последующем можно будет передавать шаблон между проектами, что создаёт большие удобства для разработчиков и экономит время;

- 5) вернемся в Constraint Manager. Теперь в столбце Referenced Electrical Cset необходимо присвоить шаблон TOP1 всей шине DDR2. Для этого достаточно выбрать первый и последний сигналы с помощью Shift, а в списке выбрать TOP1 (см. рис. 10);
- 6) откроем раздел Min/Max Propagation Delay. Все цепи, входящие в состав нашей шины, получили задержку сигнала согласно электрическому ограничению, указанному в Signal Explorer (см. рис. 11). Таким образом, процесс назначения ограничений связывает проектирование и моделирование в Allegro в единый процесс.

В редакторе топологии PCB SI все назначенные на схеме ограничения будут управлять процессом трассировки. Если задержка сигналов на плате будет отличаться от заявленной в Constraint Manager, то система предупредит нас об этом. Все значения реальной задержки, требуемой задержки и их разность можно увидеть в Constraint Manager. Здесь также можно изменять и дополнять любые ограничения.

Пропустим несколько важных шагов – генерацию списка соединений, размещение компонентов – и обратимся к почти готовой топологии. Посмотрим, как происходит процесс трассировки, управляемой ограничениями. Допустим, осталась незавершённой только одна цепь нашей шины, а именно DDR\_DQ0, как показывает Constraint Manager (см. рис. 12). На плате видно, что цепь DDR2\_DQ0 ещё не готова и ошибка помечена специальным маркером. При интерактивной трассировке и подстройке длины проводника в реальном времени появится индикатор, который покажет инженеру соответствие этой длины заявленному ограничению. На данном индикаторе будет отображаться разность между требуемой и реальной задержками сигнала. Зелёный цвет индикатора означает, что длина трассы удовлетворяет ограничению, красный – длина вы-

1	2	Type	Objects	Referenced Electrical Cset	Pin Pairs	Pin Delay		Prop Delay	
						Pin 1	Pin 2	Min	Actual
73		Net	DDR2_DM2						
74		Net	DDR2_DM3						
75		Net	DDR2_DQ0	TOP1					
76		PPr	U13.AL20-U28.G8					2800 mil	3300 n
77		Net	DDR2_DQ1	TOP1					
78		PPr	U13.AH9-U28.G2					2800 mil	3300 n
79		Net	DDR2_DQ2	TOP1					
80		PPr	U13.AH9-U28.H7					2800 mil	3300 n
81		Net	DDR2_DQ3	TOP1					
82		PPr	U13.AH20-U28.H3					2800 mil	3300 n
83		Net	DDR2_DQ4	TOP1					
84		PPr	U13.AM22-U28.H1					2800 mil	3300 n
85		Net	DDR2_DQ5	TOP1					
86		PPr	U13.AM21-U28.H9					2800 mil	3300 n
87		Net	DDR2_DQ6	TOP1					
88		PPr	U13.AK21-U28.F1					2800 mil	3300 n
89		Net	DDR2_DQ7	TOP1					
90		PPr	U13.AJ21-U28.F9					2800 mil	3300 n
91		Net	DDR2_DQ8	TOP1					
92		PPr	U13.AJ23-U28.C8					2800 mil	3300 n
93		Net	DDR2_DQ9	TOP1					
94		PPr	U13.AK22-U28.C2					2800 mil	3300 n
95		Net	DDR2_DQ10	TOP1					
96		PPr	U13.AG22-U28.D7					2800 mil	3300 n
97		Net	DDR2_DQ11	TOP1					
98		PPr	U13.AG23-U28.D3					2800 mil	3300 n

Рис. 11. Задержка сигналов, назначенная через шаблон TOP1

Type	Objects	Referenced Electrical Cset	Pin Pairs	Pin Delay		Prop Delay		Prop Delay	
				Pin 1	Pin 2	Min	Margin	Actual	Margin
Net	DDR2_DM1								
Net	DDR2_DM2								
Net	DDR2_DM3								
Net	DDR2_DQ0	TOP1				1268.71 MIL		1768.71 MIL	
Net	DDR2_DQ1	TOP1				397.05 MIL		102.95 MIL	
Net	DDR2_DQ2	TOP1				445.47 MIL		54.83 MIL	
Net	DDR2_DQ3	TOP1				78.47 MIL		424.53 MIL	
Net	DDR2_DQ4	TOP1				350.33 MIL		149.67 MIL	
Net	DDR2_DQ5	TOP1				92.98 MIL		407.02 MIL	
Net	DDR2_DQ6	TOP1				369.59 MIL		130.41 MIL	
Net	DDR2_DQ7	TOP1				213.7 MIL		206.3 MIL	
Net	DDR2_DQ8	TOP1				159.09 MIL		349.91 MIL	
Net	DDR2_DQ9	TOP1				220.98 MIL		279.02 MIL	
Net	DDR2_DQ10	TOP1				129.79 MIL		370.21 MIL	
Net	DDR2_DQ11	TOP1				166.86 MIL		334.36 MIL	
Net	DDR2_DQ12	TOP1				70.86 MIL		429.34 MIL	
Net	DDR2_DQ13	TOP1				135.12 MIL		364.88 MIL	
Net	DDR2_DQ14	TOP1				199.86 MIL		300.14 MIL	
Net	DDR2_DQ15	TOP1				67.07 MIL		432.93 MIL	
Net	DDR2_DQ16	TOP1				283.25 MIL		236.76 MIL	
Net	DDR2_DQ17	TOP1				242.11 MIL		257.89 MIL	
Net	DDR2_DQ18	TOP1				169.95 MIL		330.05 MIL	
Net	DDR2_DQ19	TOP1				252.17 MIL		247.83 MIL	
Net	DDR2_DQ20	TOP1				311.1 MIL		188.9 MIL	
Net	DDR2_DQ21	TOP1				46.87 MIL		463.33 MIL	
Net	DDR2_DQ22	TOP1				31.13 MIL		468.87 MIL	
Net	DDR2_DQ23	TOP1				224.77 MIL		275.23 MIL	
Net	DDR2_DQ24	TOP1				221.19 MIL		278.91 MIL	
Net	DDR2_DQ25	TOP1				108.78 MIL		391.74 MIL	
Net	DDR2_DQ26	TOP1				118.09 MIL		381.91 MIL	

Рис. 12. Constraint Manager в редакторе топологии Allegro PCB SI

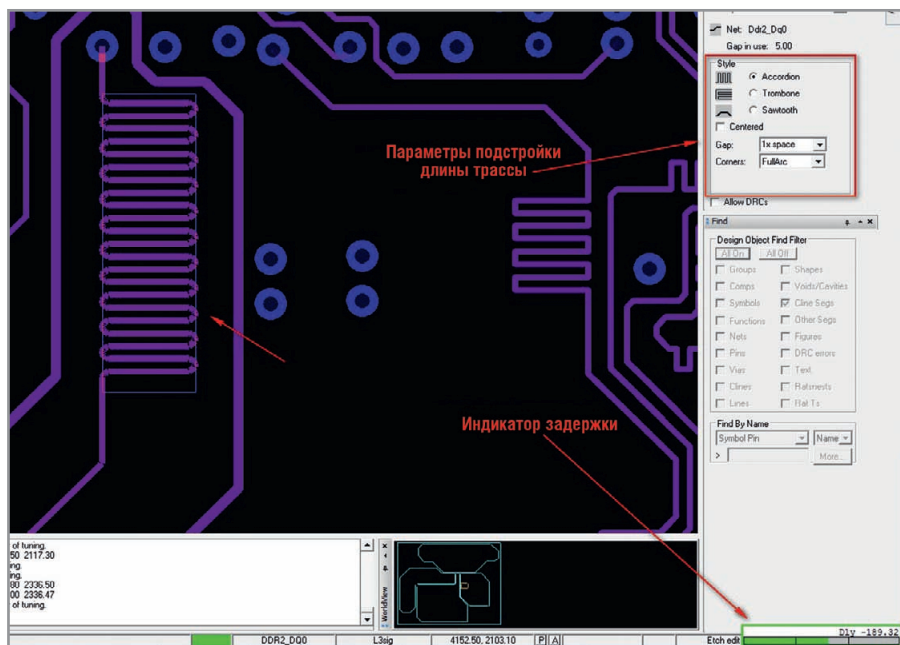


Рис. 13. Подстройка сигнала в Allegro PCB SI в соответствии с ограничением

Net	Type	Objects	Referenced Electrical Cset	Pin Pairs	Pin Delay	Prop Delay
Net	DDR2_DQ0	TOP1				
PPr	U13.AL20-U28.G8				2800.0...	310.68 MIL

Рис. 14. Значения требуемой и реальной задержек сигнала в Constraint Manager

ходит за пределы допуска (см. рис. 13). В *Constraint Manager* также появятся результаты работы (см. рис. 14).

Следующий этап работы – посттопологический анализ целостности сигналов и корректировка топологии по его результатам. Это – тема для отдельной статьи. Здесь возможности Allegro PCB SI неисчерпаемы. Как и в случае со схемой, любая цепь может быть передана из редактора топологии в *Signal Explorer* для моделирования, и там же могут быть назначены ограничения для *Constraint Manager*. Однако в этом случае модель цепи будет содержать в себе не идеальные линии передачи, а реальные модели проводников и отверстий, привязанных к топологии платы и материалам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, все процессы проектирования высокоскоростных плат в пакете Allegro тесно связаны с системным анализом целостности сигналов Allegro PCB SI, что обеспечивает высокую точность и качество проектов. Важную роль в этом процессе играет тесное взаимодействие между инженером-схемотехником, инженером по топологии и инженером по анализу целостности сигналов. Благодаря общей базе проекта в Allegro, такое взаимодействие становится максимально продуктивным.

Предтопологический анализ целостности сигналов проводится на этапе разработки схемы с целью формирования шаблонов с электрическими ограничениями. Далее эти ограничения передаются в редактор топологии PCB SI для компоновки проекта, моделирования и предварительной трассировки наиболее критичных цепей. Здесь электрические ограничения корректируются и становятся более сбалансированными. Далее вся база проекта с ограничениями передаётся инженеру по топологии в Allegro PCB Designer. Трансляция данных между Allegro PCB SI и Allegro PCB Designer не требуется, что позволяет избежать связанных с этим возможных потерь в базе проекта. Allegro PCB Designer, в отличие от Allegro PCB SI, «заточен» именно под трассировку плат с учётом технологичности проектов и привязкой к возможностям конкретного производителя, обеспечения контролепригодности и надёжности плат.

# Учёт динамического поведения моделей полевых транзисторов

Печатается с разрешения *Microwave Journal* (<http://www.microwavejournal.com/>)

## Грэм Райли (США)

**Для быстрой оценки пригодности и влияния разброса параметров нелинейной модели полевого транзистора можно применять несложные качественные испытания. Такая предварительная оценка позволяет разработчикам избежать дорогостоящих и трудоёмких итераций проектирования.**

Современные инженеры сталкиваются с рядом проблем, в том числе, с неадекватными моделями нелинейных устройств, что приводит к неточному моделированию при большом уровне сигнала на высоких частотах. Поэтому, прежде чем передавать проект в производство, разработчик должен знать, подходит ли данная модель для его приложения. К сожалению, трудоёмкость предварительной оценки нелинейной модели часто воспринимается как высокая, поэтому далеко не все инженеры задаются вопросом: «Достаточно ли хороша моя модель?». Неспособность точного учёта динамических аспектов поведения модели устройства может отрицательно сказаться на приложении. Следовательно, построение модели такого поведения важно для точного нелинейного моделирования.

Мощный, основанный на моделировании метод квалификационных испытаний теперь предлагает разработчикам эффективные средства тестирования моделей полевых транзисторов

для нормируемых поведенческих характеристик на высоких частотах при большом сигнале и в рабочей точке, необходимой для приложения. Такой предварительный анализ имеет решающее значение, позволяя разработчикам избежать дорогостоящих и трудоёмких итераций проектирования и их последствий.

### ПОНИМАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

Чтобы лучше понять, почему так важно учитывать динамическое поведение устройства, сначала важно выяснить, что представляет собой это поведение. Динамическое поведение проявляется в том случае, когда результаты измерения параметров объекта зависят от момента начала воздействия (подразумевая память о предыдущем состоянии) и/или от продолжительности рассматриваемого воздействия (постоянные времени процесса/механизма). Такое поведение могут демонстрировать любые полупроводниковые приборы в ответ на

электрическое воздействие, но особенно в присутствии высокочастотных сигналов большого уровня (например, в ВЧ-усилителях, смесителях, генераторах и высокоскоростных цифровых схемах). На динамическое поведение оказывает влияние технология изготовления устройства и его размеры. Но было бы неверно предполагать, что приборы, изготавливаемые по новейшему субмикронному кремниевому процессу, будут реже проявлять динамическое поведение, чем 50-ваттный прибор, выполненный по технологии GaN.

Когда устройство в спокойном (устойчивом) состоянии испытывает воздействие в виде изменения электрических параметров, это изменение не сразу приводит к новому стационарному состоянию. Вместо этого начинают протекать физические процессы с различными постоянными времени. Наблюдаемым результатом является зависящее от времени изменение электрических характеристик, измеряемых на клеммах устройства.

На рисунке 1 изображён отклик тока стока  $I_c(t)$  полевого транзистора на скачок приложенного напряжения. После момента  $t = 0$  наблюдается быстрая реакция подвижных носителей заряда в канале, и ток  $I(t)$  спадает до установившегося значения  $I_{\text{быстр}}$ . Затем изменение условий оказывает влияние на температуру канала и для некоторых технологий на зарядовое состояние ловушек (дефекты/неоднородности в кристаллической решётке устройства, которые проявляются в виде дискретных энергетических уровней запрещённой зоны материала). В свою очередь, изменение температуры канала и состояния ловушек влияет на видимую подвижность носителей в канале и вызывает изменение тока, пока он не достигнет равновесного состояния ( $I_{\text{медл}}$ ). Это изменение состояния с течением времени также можно рассматривать как реакцию прибора (только другим способом)

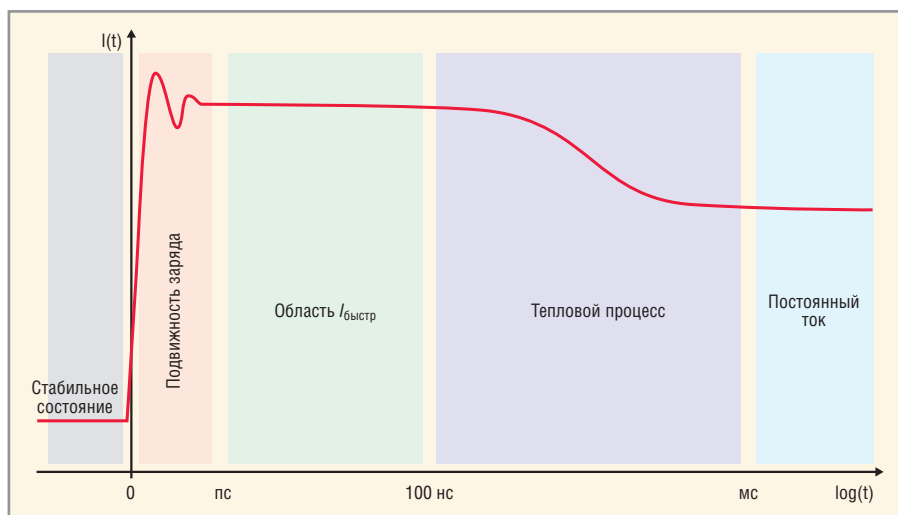


Рис. 1. Реакция  $I(t)$  на скачок напряжения в момент времени  $t = 0$

на различные приложенные частоты или полосу качания.

Зависимость тока от напряжения  $I(V)$ , полученная при разной эффективной длительности импульсов, и реакция на скачок напряжения, который мы видим на рисунке 1, показаны на рисунке 2. Обратите внимание, что характеристика  $I(V)$ , измеренная на постоянном токе, не совпадает с той же характеристикой, наблюдаемой на высокочастотном сигнале.

Из кривых  $I(V)$  на рисунке 2 можно сделать вывод, что производные тока  $I$  по напряжению  $V$  зависят от времени. Взгляните на частные производные  $di_c/dv_3$  или  $g_m$ . Очевидно, что усиление будет отличаться для высокочастотного сигнала по сравнению с медленно изменяющимся сигналом. Аналогичным образом генерация гармоник и продуктов интермодуляции зависит от производных  $I-V$  и для других ключевых величин, таких как коэффициент мощности соседнего канала (ACPR), АМ-ФМ, амплитуда вектора ошибки (EVM) и эффективность питания (PAE). Неточное описание ВАХ в модели прибора даст неправильные реакции для этих важных показателей.

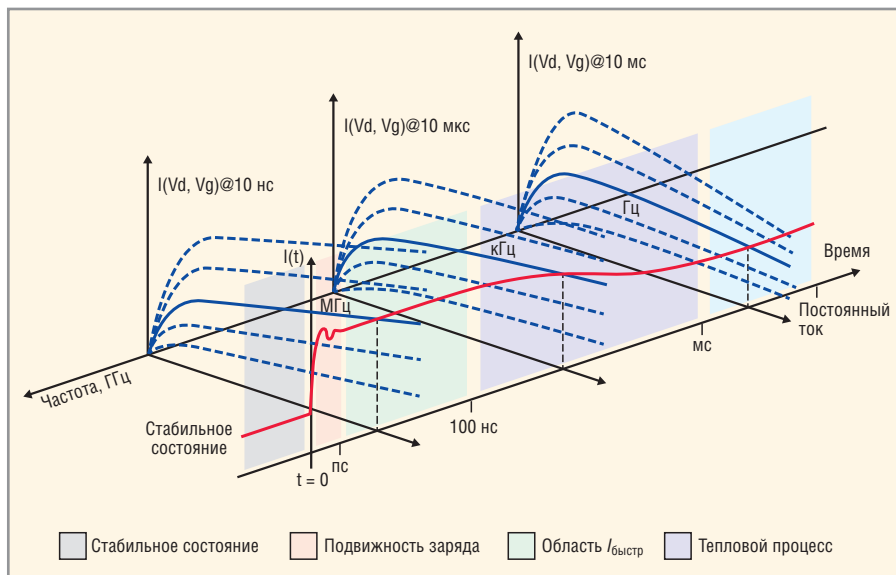


Рис. 2. Взаимозависимость графиков  $I(V)$  и  $I(t)$  в результате реакции на скачок

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

В то время как для учёта динамического поведения моделей полупроводниковых приборов разработано несколько подходов, остаётся сложным определение, хорошо ли подходит модель к соответствующим измеренным данным. Модель, учитывающая только ВАХ постоянного тока и

квазистатические S-параметры, вряд ли даст точные результаты для высокочастотного сигнала большого уровня. Данные о поведении на высокой частоте при большом уровне сигнала должны быть использованы в качестве одного из критериев подстройки модели. Кроме того, для оценки точности модели необходима смоделировать ряд тестов на вы-

## НИ БАЙТА ВРАГУ!

**innODISK**  
Beyond your imagination

**ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ НАКОПИТЕЛИ**  
для ответственных применений

#### Безопасность

- Быстрое стирание данных QEraser
- Уничтожение данных SErase
- Защита от записи

#### Производительность

- Скорость чтения до 200 Мбайт/с
- Скорость записи до 170 Мбайт/с
- Интерфейсы SATA и PATA

#### Надёжность

- Расширенный температурный диапазон -40...+85°C
- Конформное покрытие



**innoRobust® II**



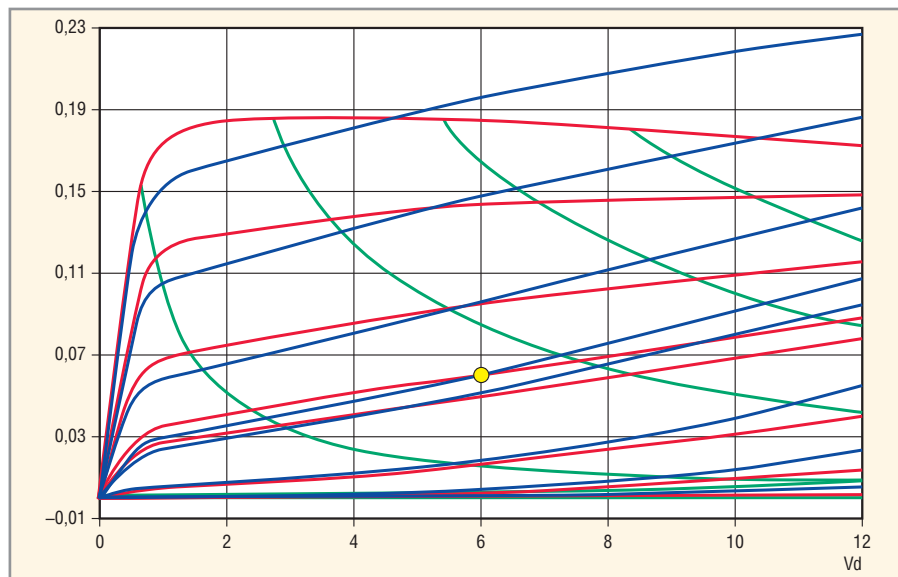
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ INNODISK

**PROSOFT®**

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



Реклама



**Рис. 3. Семейство ВАХ, демонстрирующее зависимость  $I(V)$  на постоянном токе, зависимость  $i(v)$  для импульсов и зависимость мощности на постоянном токе**

сокой частоте при большом уровне сигнала.

Тестовое моделирование полевого транзистора на высокой частоте при большом уровне сигнала можно выполнить различными способами. Самый простой, быстрый и информативный метод заключается в проверке динамических характеристик и точности модели путём сравнения ВАХ постоянного тока ( $I(V)$ ) с импульсной ВАХ ( $i(v)$ ). Исследование характерных областей импульсной ВАХ  $i(v)$  может предоставить важную информацию об общей пригодности модели для данной задачи. Например, оно позволит определить, моделируется ли соответствующее динамическое поведение, хорошо ли модель подходит для применения на высокой частоте при большом уровне сигнала в конкретном приложении, и изучить допустимый диапазон использования модели.

Кроме того, было бы полезным рассмотреть реакцию устройства на скачок  $i(t)$  и посмотреть, рационально ли его поведение. Заранее сконфигурированные процедуры тестового моделирования и измерения, подобные тем, что входят в состав САПР Agilent ADS, позволяют быстро и всесторонне оценить зависящее от времени поведение прибора. В трёх таких испытаниях используется одиночный импульс  $i(v)$ , непрерывная последовательность импульсов  $i(v)$  и скачок  $i(t)$ . Для испытаний одиночным импульсом  $i(v)$ , начиная с рабочей точки Q статического режима, на затвор и сток транзистора одновременно подаются импульсы равной длительности. Затем

измеряется ток через эти выводы в определённой пользователем точке импульса, и получаются значения для построения импульсной ВАХ  $i(v)$ . В испытаниях на непрерывную последовательность импульсов  $i(v)$  используется та же базовая методика, за исключением того, что каждый импульс подаётся в рамках одной развёртки по времени, а не отдельных развёрток для каждого импульса. В испытании на скачок  $i(t)$ , напряжения на выводах прибора одновременно изменяются от точки Q до требуемой конечной точки и удерживаются в таком состоянии в течение всего испытания, при этом регистрируются изменения тока через вывод.

### ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для проверки первичных характеристик модели, относящихся к динамическому поведению, можно использовать ряд качественных тестов. И хотя эти тесты не гарантируют точных результатов моделирования схемы, они позволяют быстро выявить сомнительное поведение модели, требующее дальнейшего исследования.

### ТЕСТ ВЫХОДНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Семейство ВАХ на рисунке 3 показывает разницу между зависимостью  $I(V)$  на постоянном токе (красная), зависимостью  $i(v)$  для импульса (синяя) и зависимостью мощности на постоянном токе (зелёная). Исследование набора импульсных характеристик  $i(v)$  выше

перегиба демонстрирует относительно постоянное положительное значение выходной проводимости для всех кривых с постоянным напряжением на затворе  $V_3$ . Набор кривых  $I(V)$  для постоянного тока демонстрирует разные значения выходной проводимости в пределах графика, причём для больших рассеиваемых мощностей наблюдаются отрицательные значения. Эта разница связана с тем, что кривые  $I(V)$  для постоянного тока содержат «скрытую» зависимость от температуры канала и состояния ловушек.

### ОБЩАЯ ФОРМА КРИВЫХ $i(v)$ (В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЧКИ Q)

Каждая заданная точка смещения Q характеризуется уникальным сочетанием рассеиваемой мощности и состояния ловушек. Форма импульсных кривых  $i(v)$  меняется в зависимости от параметров этой точки Q. Способность отслеживать это важное поведение является основной задачей модели прибора. Некоторые модели оптимизированы для конкретной точки Q и точно предсказывают поведение прибора только относительно этой точки. Применение такой модели с другой точкой Q, имеющей значительно отличающиеся параметры, обычно приводит к ухудшению характеристик. Насколько важным является это ухудшение для общей точности, зависит от конкретного приложения. Лишь некоторые эмпирические модели могут точно описать общий случай, и если не подстроить их с помощью данных, полученных в нескольких точках Q, модели будут неточными.

### ОТСЕЧКА

Как и в случае характеристик  $I(V)$  на постоянном токе, импульсные кривые  $i(v)$  должны демонстрировать отсечку как функцию напряжения на затворе. Вообще говоря, хотя значения напряжения на затворе  $V_3$  при отсечке могут отличаться и формы кривых тоже могут отличаться вблизи этой области, модель устройства должна по-прежнему демонстрировать отсечку до  $I_c = 0$  и для постоянного тока, и для импульсных сигналов.

### СМЕЩЕНИЕ ТОКА СТОКА В НАЧАЛЬНОЙ ТОЧКЕ

Некоторые модели не могут точно предсказать поведение прибора вдали от смещения их импульсной характеристики  $i(v)$ . Это проявляется в виде

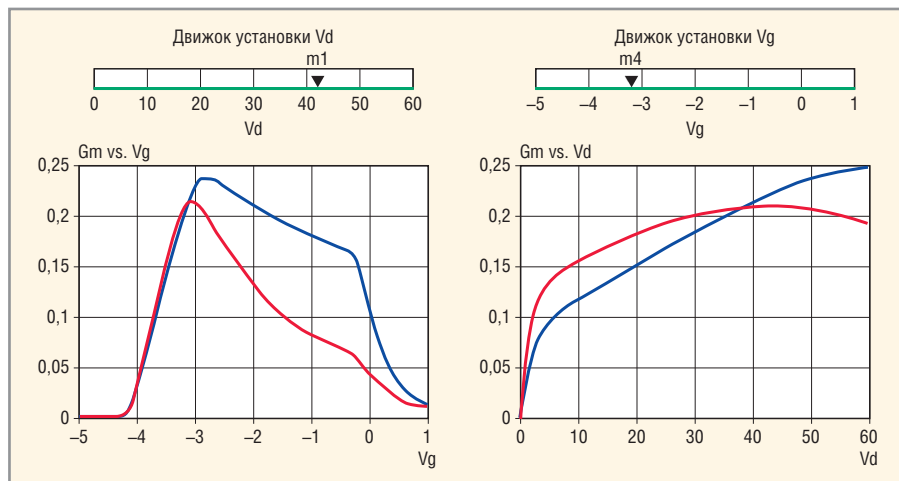


Рис. 4. Графики изменения крутизны  $G_m$ , построенные в результате моделирования на постоянном и импульсном токе

смещения импульсных кривых  $i(v)$  в начальной точке. В тех случаях, когда смещение очевидно, разработчик должен исследовать влияние этого искажения на целевое приложение.

### Точка смещения

Совпадающий характер точки смещения и на постоянном токе  $I(V)$ , и на импульсной  $i(v)$  характеристике является фактом. Это состояние является и логичным, и необходимым, поскольку характеристика  $I(V)$  на постоянном токе является, в сущности, набором смещённых точек покоя, из которых можно выполнять любые импульсные измерения.

### Крутизна характеристики – $G_m$

На рисунке 4 хорошо заметна разность между значениями  $G_m$ , полученными на постоянном и импульсном токе. Эта разность подчёркивает важность точного моделирования разброса характеристик устройства. Производные высшего порядка, которые описывают продукты интермодуляции и гармонические составляющие, ведут себя аналогичным образом.

### Эффекты памяти

Если реакция прибора на воздействие зависит от истории его работы, то говорят, что он «помнит» прошлое и, следовательно, обладает эффектом памяти. Для модели прибора без эффекта памяти результаты моделирования будут одинаковыми для данной точки импульсной кривой  $i(v)$ , независимо от числа импульсов, порядка их следования или покрытия плоскости  $I-V$ . Для приборов, обладающих эффектом памяти, это не так, и условия одинаково-

вого импульсного возбуждения могут приводить к различным характеристикам.

### Реакция на скачок

Этот тест выявляет поведение, показанное на рисунке 1. Кроме того, он проверяет постоянные времена, связанные с конкретным прибором или его моделью. Этот тест часто выполняют, чтобы убедиться в том, что имитируемые импульсные измерения  $i(v)$  используют достаточно быстрые импульсы для точного описания плоского высокочастотного участка, показанного на рисунке 1.

### Заключение

Учёт динамических характеристик и поведения полевых транзисторов во всех электрических моделях является важным для точного нелинейного моделирования. К счастью, теперь разработчики могут использовать мощный, основанный на моделировании метод определения пригодности моделей полевых транзисторов, чтобы выявить ключевые особенности поведения на высоких частотах в присутствии больших сигналов и в рабочей точке, необходимой для данного приложения. Кроме того, для быстрой оценки пригодности и влияния разброса параметров данной модели полевого транзистора можно применять несложные качественные испытания. Такая предварительная оценка имеет решающее значение для исключения дорогостоящих и трудоёмких задач на поздних этапах проектирования.

Приведённые в настоящем документе характеристики и описания продуктов могут изменяться без предварительного уведомления.

SCHAEFER

**НАДЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ЭНЕРГИИ**

#### Импульсные источники питания

- Преобразователи DC/DC
- Источники питания AC/DC
- Устройства управления зарядом батарей

#### Импульсные инверторы

- Инверторы DC/AC
- AC/AC-преобразователи

#### Области применения

- Промышленная автоматизация
- Атомные электростанции
- Военная промышленность
- Железнодорожный транспорт



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР  
ПРОДУКЦИИ SCHAEFER

PROSOFT®



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

# Резервы классических аппроксимаций цифровых БИХ-фильтров

Александр Мингазин (Москва)

Статья посвящена проблеме выбора исходных параметров АЧХ классических цифровых БИХ-фильтров Баттерворта, Чебышева (I и II) и Золотарёва–Кауэра с целью получения минимальной неравномерности ХГВЗ и/или минимальной нелинейности ФЧХ в полосе пропускания. Рассмотрен ряд вопросов, а именно: как найти оптимальные параметры, какая аппроксимация является наилучшей, насколько хороши решения с квантованными коэффициентами, можно ли улучшить результаты, найденные ранее оригинальными методами аппроксимации, и как сильно влияет выбор исходных параметров на выравнивание ХГВЗ с помощью фазовых корректоров.

## ВВЕДЕНИЕ

Для синтеза цифровых БИХ-фильтров необходимо задать требования к параметрам АЧХ, таким как предельно допустимая неравномерность в полосе пропускания, предельно допустимое минимальное ослабление в полосе задерживания и номинальные граничные частоты этих полос. Соответствующий порядок передаточной функции обычно выбирают так, что требования удовлетворяются с запасом. При этом для той или иной аппроксимации АЧХ существует определённая область допустимых исходных параметров  $S(\mathbf{p})$ , где  $\mathbf{p}$  – вектор исходных параметров [1]. Расчёт фильтра для любой точки области будет приводить к допустимой АЧХ. Размерность  $\mathbf{p}$  и форма  $S(\mathbf{p})$  зависят от вида аппроксимации (Баттерворта, Чебышева и др.) и типа фильтра (нижних, верхних частот и др.), а её размеры – от заданных требований к АЧХ и порядка фильтра.

Перед разработчиком стоит задача выбора исходных параметров в  $S(\mathbf{p})$  для расчёта фильтра. Работы [2–9] посвящены определению экстремально улучшенного значения одного из параметров при заданных остальных. Так, например, неравномерность в полосе пропускания может быть максимально уменьшена или полоса пропускания экстремально расширена без нарушения требований к другим параметрам. Такой подход означает, что совокупность исходных значений параметров будет принадлежать границе  $S(\mathbf{p})$ .

В работе [8] представлена компьютерная программа Extremal для расчёта экстремальных параметров АЧХ

аналоговых и цифровых фильтров нижних и верхних частот полосовых и режекторных фильтров применительно к классическим аппроксимациям Баттерворта, Чебышева I, Чебышева II (инверсная аппроксимация Чебышева) и Золотарёва–Кауэра (эллиптическая). Там же приведён пример расчёта для полосового фильтра. Кроме того, для двух фильтров нижних частот Золотарёва–Кауэра проиллюстрирована сильная зависимость неравномерности ХГВЗ в полосе пропускания от параметров АЧХ.

В данной статье мы исследуем резервы классических аппроксимаций цифровых БИХ-фильтров в смысле получения минимальной неравномерности ХГВЗ и/или минимальной нелинейности ФЧХ в полосе пропускания для точек, принадлежащих области  $S(\mathbf{p})$ . Эта проблема до сих пор недостаточно изучена. Нас будут интересовать следующие вопросы:

- как найти оптимальное решение;
- какая аппроксимация даёт наилучшие результаты;
- насколько хороши решения с квантованными коэффициентами;
- как сильно влияет выбор исходных параметров на результаты выравнивания ХГВЗ с помощью фазовых корректоров.

Далее мы ограничимся рассмотрением БИХ-фильтров нижних частот, полученных по аналоговым прототипам методом билинейного преобразования.

## ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

На рисунке 1 представлены области допустимых исходных параметров

$S(\mathbf{p})$  для четырёх обсуждаемых аппроксимаций БИХ-фильтров нижних частот. Расчёт фильтра для любой точки той или иной области приводит к допустимой АЧХ, параметры которой удовлетворяют следующим условиям:

$$\Delta\hat{a} \leq \Delta a_{\max}, \hat{a}_0 \geq a_{0\min}, \quad (1)$$

где  $\Delta\hat{a}$  – неравномерность АЧХ в номинальной полосе пропускания ( $0 \leq f \leq f_{1n}$ ) и  $\hat{a}_0$  – минимальное ослабление АЧХ в номинальной полосе задерживания ( $f_{2n} \leq f \leq 0,5$ ), а  $\Delta a_{\max}$  и  $a_{0\min}$  – заданные предельно допустимые значения неравномерности и ослабления;  $f_{1n}$  и  $f_{2n}$  – заданные номинальные граничные частоты полос, которые, как и текущая частота  $f$ , нормированы относительно частоты дискретизации. Предполагается, что параметры в (1) выражены в децибелах и максимум АЧХ нормирован к 0 дБ. Порядок фильтра  $N$  для конкретной аппроксимации оценивается по значениям  $f_{1n}$ ,  $f_{2n}$ ,  $\Delta a_{\max}$  и  $a_{0\min}$ .

Для фильтров Баттерворта  $S(\mathbf{p}) = S(p_1) = S(\Delta a)$  или  $S(p_2) = S(f_1)$  представляет собой отрезок прямой и полностью определяется одним исходным параметром – неравномерностью в полосе пропускания  $\Delta a$  или граничной частотой полосы пропускания  $f_1$ . Эти параметры для фильтров Баттерворта являются зависимыми. На рисунке 1а показана  $S(f_1)$  при  $\Delta a_{\max}$ . Область фильтров Чебышева I  $S(p) = S(p_1, p_2) = S(\Delta a, f_1)$  на рисунке 1б полностью определяется двумя уже пояснёнными исходными параметрами. Область фильтров Чебышева II  $S(a_0, f_2)$  на рисунке 1в полностью определяется двумя исходными параметрами – ослаблением в полосе задерживания  $a_0$  и граничной частотой  $f_2$  этой полосы. Отметим, что введённые выше области фильтров Баттерворта можно заметить на  $S(a_0)$  или  $S(f_2)$ .

Область фильтров Золотарёва–Кауэра представляет собой трёхмерную фигуру  $S(\Delta a, f_1, f_2)$  (см. рис. 1г) и полностью определяется уже пояснёнными выше тремя исходными параметрами. Она образована пересечениями

плоскости  $\Delta a = \Delta a_{\max}$  и трёх поверхностей с характерными точками В, D, E для первой, D, E, F для второй и В, D, F для третьей поверхности. Начало координат соответствует точке А, для которой  $\Delta a = \Delta a_{\max}$ ,  $f_1 = f_{1n}$  и  $f_2 = f_{2n}$ . Точки А, В, С, D лежат в плоскости  $f_2 = f_{2n}$ , а точки С, E, F – в плоскости  $f_1 = f_{1n}$ . На рисунках 1б и 1в отмечены кривые, а на рисунке 1г – поверхности постоянства  $\Delta \hat{a}$  и  $\hat{a}_0$ . Для всех обсуждаемых аппроксимаций экстремальные значения  $\Delta a_{\min}$ ,  $\Delta a_{0\max}$ ,  $\Delta \hat{a}_{\min}$ ,  $\hat{a}_0 \max$ ,  $f_{1\min}$ ,  $f_{1\max}$ ,  $f_{2\min}$ ,  $f_{2\max}$ , указанные на рисунках 1а–1г, могут быть рассчитаны с помощью программы Extremal. Особо отметим, что знак  $\sim$  соответствия параметра номинальной полосе мы не используем в обозначениях предельно допустимых параметров в правых частях неравенств (1), поскольку всегда  $\Delta \hat{a}_{\max} = \Delta a_{\max}$  и  $\hat{a}_0 \min = a_{0\min}$ .

Области  $S(\mathbf{p})$ , с некоторыми изменениями в обозначениях, были ранее представлены в [1], где также даны их математические описания. Далее мы будем обозначать все рассмотренные области как  $S$ , опустив зависимость от вектора  $\mathbf{p}$  или его компонентов.

### Неравномерность ХГВЗ и нелинейность ФЧХ

Известно, что линейной ФЧХ соответствует постоянная ХГВЗ или нулевая неравномерность ХГВЗ. Однако не обязательно малая неравномерность ХГВЗ обусловлена малой нелинейностью ФЧХ и наоборот. Поэтому мы уделим внимание каждой из этих характеристик. Ниже, в определениях неравномерности ХГВЗ и нелинейности ФЧХ, зависимость их от  $\mathbf{p}$  для простоты опустим.

### ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для оценки неравномерности ХГВЗ в номинальной полосе пропускания используем следующее определение:

$$\Delta\tau = \max_f \tau(f) - \min_f \tau(f), 0 \leq f \leq f_{1n}$$

где  $\tau(f)$  – ХГВЗ. Значения  $\tau(f)$  и  $\Delta\tau$  оцениваются в отсчётах частоты дискретизации.

Для оценки нелинейности ФЧХ в номинальной полосе пропускания используем следующее определение:

$$\Delta\varphi = \max_f |(\varphi(f) - K 360 f)|, 0 \leq f \leq f_{1n} \quad (2)$$

где  $\varphi(f)$  – ФЧХ,  $K$  – константа, которая подбирается так, чтобы  $\Delta\varphi$  была мини-

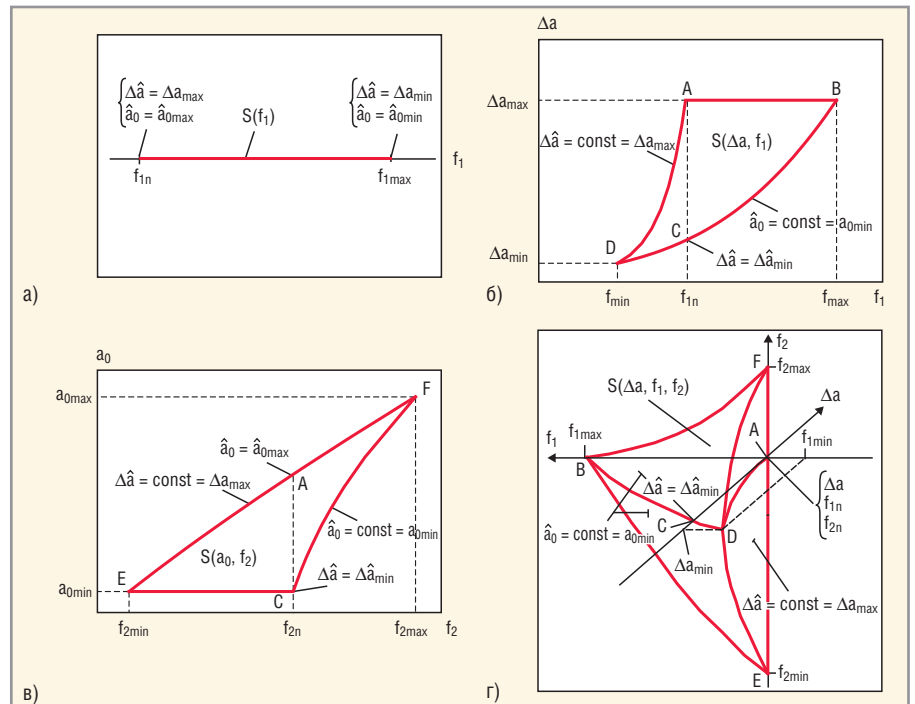


Рис. 1. Области допустимых исходных параметров фильтров

а) Баттворта, б) Чебышева I, в) Чебышева II, г) Золотарёва-Кауэра

мальной. Значения  $\varphi(f)$  и  $\Delta\varphi$  оцениваются в градусах.

Затруднительно найти аналитически точку в той или иной области  $S$  на рисунке 1, которая соответствует минимуму нелинейности ФЧХ и/или минимуму неравномерности ХГВЗ в полосе пропускания. Поэтому выполним прямое исследование всех областей на рисунке 1 для следующих значений параметров (1):

$$\Delta a_{\max} = 3 \text{ дБ}; a_{0\min} = 45 \text{ дБ};$$

$$f_{1n} = 0,1 \text{ и } f_{2n} = 0,2. \quad (3)$$

Далее мы будем руководствоваться известными фактами в отношении параметров АЧХ БИХ-фильтров. Так, зависимости между параметрами имеют регулярный характер, и невозможно улучшить одни параметры без ухудшения других. Кроме того, следует помнить, что уменьшение неравномерности в номинальной полосе пропускания позволяет снизить  $\Delta\tau$  и  $\Delta\varphi$ . Эти утверждения не связаны с конкретны-

IF/RF & Microwave Design

## advantex SG8

Высокочастотный генератор сигналов

Мощность: **-20..+28 дБм**

Погрешность: **±0.2 дБ**

Шаг установки: **0.05 дБ**

Диапазон частот: **10 МГц .. 8 ГГц**

Шаг перестройки: **<0.001 Гц**

Фазовый шум: **-120 дБн/Гц**  
при отстройке 10 кГц @ 1 ГГц

Модуляция: частотная, фазовая

Качание: частота, мощность

Управление (SCPI): USB, RS-232

Сделано в России

www.advantex.ru

Реклама

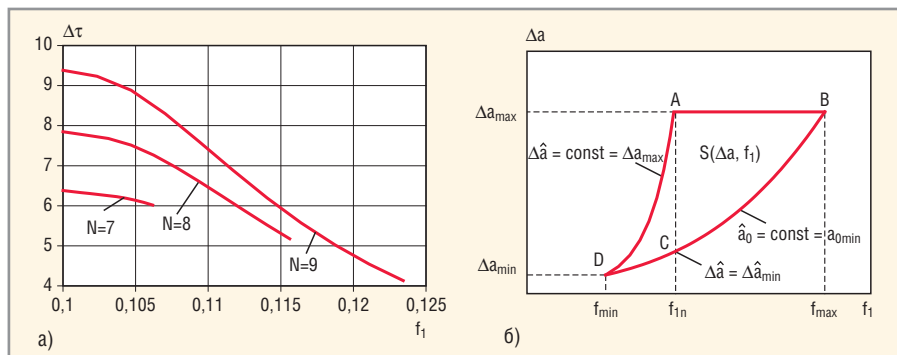


Рис. 2. Зависимости неравномерности ХГВЗ (а) и нелинейности ФЧХ (б) фильтров Баттерворта от граничной частоты  $f_1$  при требованиях (3)

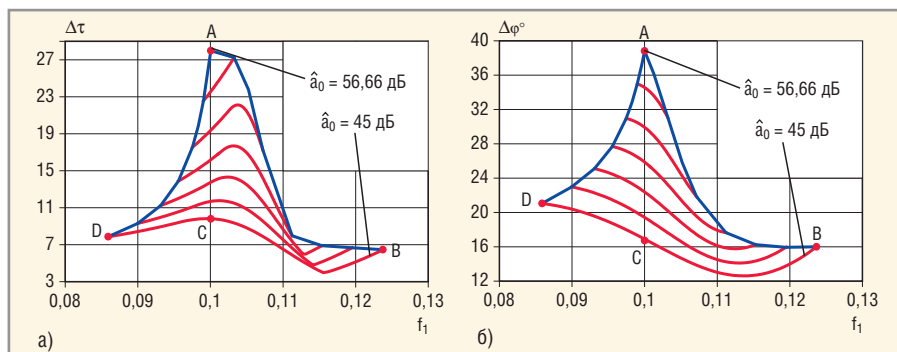


Рис. 3. Зависимости неравномерности ХГВЗ (а) и нелинейности ФЧХ (б) фильтров Чебышева I от граничной частоты  $f_1$  при требованиях (3),  $N = 5$ ,  $\hat{a}_0 = 45; 47; \dots; 55$  и  $56,66$  дБ

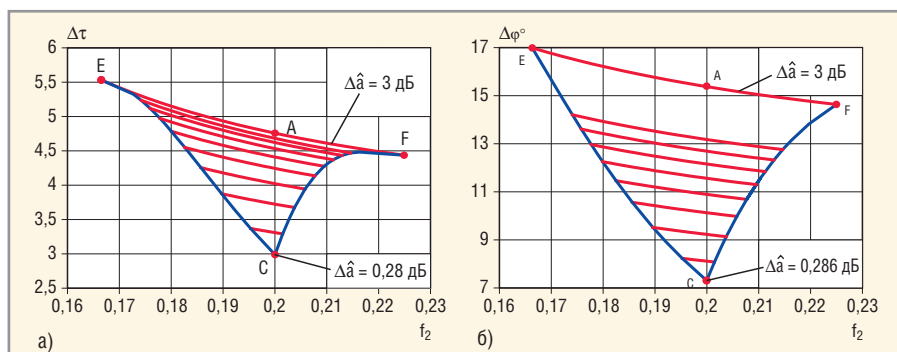


Рис. 4. Зависимости неравномерности ХГВЗ (а) и нелинейности ФЧХ (б) фильтров Чебышева II от граничной частоты  $f_2$  при требованиях (3),  $N = 5$ ,  $\hat{a}_0 = 0,286; 0,4; 0,6; \dots; 1,8$  и  $3$  дБ

ми требованиями к АЧХ. Поэтому мы полагаем, что выводы относительно той или иной аппроксимации при условиях (3) будут справедливы и в случае произвольных требований.

**Фильтры Баттерворта**

Для фильтров Баттерворта на рисунках 2а и 2б представлены зависимости  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  от исходного параметра  $f_1$  области рисунка 1а для трёх значений  $N$ , включая минимальное  $N = 7$ . Видно, что с увеличением  $f_1$ , неравномерность ХГВЗ и нелинейность ФЧХ монотонно уменьшаются, независимо от  $N$ . Заметим, что для фильтров Баттерворта увеличение  $f_1$  эквивалентное уменьшению  $\Delta a$  приводит к уменьшению  $\Delta\hat{a}$ .

Предельно возможному значению  $f_1 = f_{1max}$  (или  $\Delta a = \Delta a_{min}$ ) соответствуют

минимумы параметров  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$ . С увеличением  $N$  возрастает различие в значениях этих параметров для крайних точек  $S$ . Увеличивая  $N$  от 7 до 9 и предельно расширяя полосу пропускания  $f_1$ , можно несколько уменьшить  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$ . Дальнейшее увеличение  $N$  малоэффективно.

**Фильтры Чебышева I**

Для фильтров Чебышева I зависимость  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  от исходных параметров  $a_0$  и  $f_2$  удобно исследовать на ряде кривых  $\Delta\hat{a} = \text{const}$  области  $S$  рисунка 1в. С уменьшением  $\Delta\hat{a}$  происходит уменьшение области  $S$  за счёт перемещения кривой  $BD$  к точке  $A$  до полного слияния с ней. В области  $S$  наименьшие  $\Delta a$  и  $\Delta\hat{a}$  для конкретного значения  $f_1$  имеют место на кривой  $BD$ . Поэтому, учитывая упо-

мянутую ранее полезность уменьшения  $\Delta\hat{a}$  и то, что для ВД диапазон изменения  $f_1$  является максимальным, можно предположить, что минимумы  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  находятся на этой кривой.

Для требований (3) минимальное значение  $N = 5$ . На рисунках 3а и 3б показаны зависимости  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  от  $f_1$  для ряда значений  $\hat{a}_0$ . Минимумы  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  имеют место при разных  $f_1$  и лежат на кривой  $BD$ , что подтверждает сделанное выше предположение.

С увеличением  $\hat{a}_0$  минимум  $\Delta\tau$ , возрастая, перемещается на правый, а затем на левый край кривой  $\hat{a}_0 = \text{const}$  (см. рис. 3а), а минимум  $\Delta\phi$  – на правый край кривой  $\hat{a}_0 = \text{const}$  (см. рис. 3б). Видно, что не всегда уменьшение  $\Delta\tau$  сопровождается уменьшением  $\Delta\phi$ , и наоборот. Представленные кривые на рисунках 3а и 3б имеют регулярный характер. Здесь точки  $A, B, C$  и  $D$  соответствуют аналогичным точкам области  $S$  на рисунке 1б. Полученные минимальные значения  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  на рисунках 3а и 3б меньше значений в точках  $B, C, D$  и значительно меньше наихудших значений в точках  $A$ .

Таким образом, минимум  $\Delta\tau$  или  $\Delta\phi$  фильтров Чебышева I можно найти, исследовав лишь кривую  $BD$  рисунка 1б на дискретном наборе частот  $f_1$ . Такой однопараметрический поиск легко автоматизировать на компьютере.

**Фильтры Чебышева II**

Для фильтров Чебышева II зависимость  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  от исходных параметров  $a_0$  и  $f_2$  удобно исследовать на ряде кривых  $\Delta\hat{a} = \text{const}$  области  $S$  рисунка 1в. С уменьшением  $\Delta\hat{a}$  происходит уменьшение области  $S$  за счёт перемещения кривой  $EF$  к точке  $C$  до полного слияния с ней. Для этой точки  $\Delta\hat{a} = \Delta\hat{a}_{min}$ . Поэтому точка  $C$  является подозреваемой на минимум  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$ .

На рисунках 4а и 4б показаны зависимости  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  от  $f_2$  для  $N = 5$  и ряда значений  $\Delta\hat{a}$ . Минимумы  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  имеют место, как и предполагалось, в точке  $C$ , и с ростом  $\Delta\hat{a}$  их значения увеличиваются и перемещаются на правый край кривых  $\Delta\hat{a} = \text{const}$  на рисунках 4а и 4б. Здесь точки  $A, C, E$  и  $F$  соответствуют аналогичным точкам  $S$  рисунка 1в. Согласно рисункам 4а и 4б, полученный минимум  $\Delta\tau$  более чем в ~1,5 раза, а минимум  $\Delta\phi$  более чем в два раза меньше значений в точках  $A, E$  и  $F$ .

Таким образом, минимум  $\Delta\tau$  или  $\Delta\phi$  фильтров Чебышева II можно найти, выполнив расчёт для точки  $C$  области  $S$

на рисунке 1в, что совпадает с расчётом этих фильтров непосредственно по данным (3). Здесь можно отметить, что подстановка (3) в широко известную программу QEDesign-2000 даёт решение для точки E на рисунке 1в, которой, согласно рисункам 4а и 4б, соответствует фильтр с наибольшими значениями  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$ .

### ФИЛЬТРЫ ЗОЛОТАРЁВА–КАУЭРА

Фильтры Золотарёва–Кауэра полностью определяются исходными параметрами  $\Delta a$ ,  $f_1$  и  $f_2$  области S (см. рис. 1г). Сечения этой области при  $f_2 = \text{const}$  по форме напоминают область фильтров Чебышева I на рисунке 1б. Наибольшее из них соответствует  $f_2 = f_{2n}$  и проходит через точки A, B, C и D. Поэтому предположим, что минимумы  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  находятся именно в этом сечении, более того, на кривой BD, как и в случае фильтров Чебышева I. Для подтверждения этого исследуем зависимость  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  от  $f_1$  при  $f_2 = f_{2n}$  на ряде кривых  $\hat{a}_0 = \text{const}$  области S. Кроме того, для полноты картины мы исследуем также сечение области на рисунке 1г, которое проходит через точки C, E, F и является наибольшим из всех сечений  $f_1 = f_{1n} = \text{const}$ . Это сечение будет напоминать область S фильтров Чебышева II, если последнюю изобразить в координатах  $\Delta a, f_2$ , а не  $a_0, f_2$ , как на рисунке 1 в.

Для требований (3) минимальное значение  $N = 4$ . На рисунке 5а и 5б показаны зависимости  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  от  $f_1$  для ряда значений  $\hat{a}_0$ . Минимумы  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  имеют место при разных  $f_1$  и, как предполагалось, находятся на кривой BD. Семейства кривых на рисунках 5а и 5б очень схожи с семействами кривых на рисунках 3а и 3б для фильтров Чебышева I. Полученные минимумы  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  на рисунках 5а и 5б меньше значений в экстремальных точках B, C, D и значительно меньше наихудших значений в точке A. Интересно отметить, что с уменьшением  $\Delta a_{\text{max}}$  в (3) минимумы  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  на рисунках 5а и 5б перемещаются по кривым BD вправо и в конечном счёте оказываются в точках B.

Рассмотрим теперь сечение  $f_1 = f_{1n}$  области S на рисунке 1г. Зависимости  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  от  $f_2$  для ряда значений  $\Delta \hat{a}$  представлены рисунками 6а и 6б. Видно, что минимумы  $\Delta t$  и  $\Delta \varphi$  достигнуты в точках C и превышают минимумы на рисунках 5а и 5б. Семейства кривых на рисунке 6 схожи с показанными на рисунке 4 для фильтров Чебышева II.

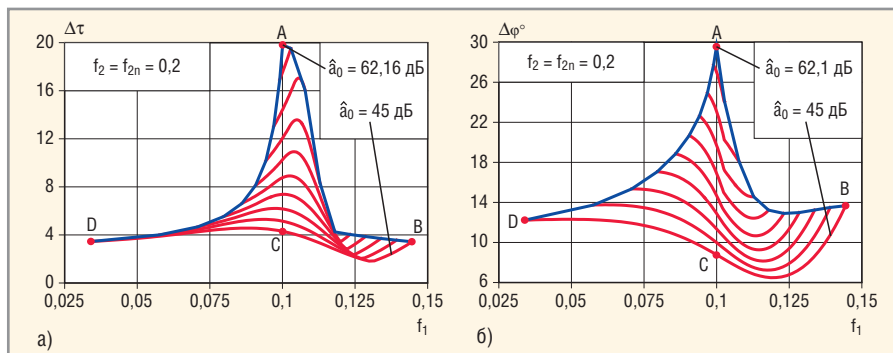


Рис. 5. Зависимости неравномерности ХГВЗ (а) и нелинейности ФЧХ (б) фильтров Золотарёва–Кауэра от граничной частоты  $f_1$  при требованиях (3),  $N = 4$ ,  $f_2 = 0,2$ ,  $\hat{a}_0 = 45; 47; \dots; 61$  и  $62,16$  дБ

Итак, мы полагаем, что минимум или  $\Delta t$  или  $\Delta \varphi$  фильтров Золотарёва–Кауэра можно найти, исследовав кривую BD области S рисунка 1г на дискретном наборе граничных частот  $f_1$ . Такой процесс однопараметрического поиска легко автоматизировать с помощью компьютера.

### ПРЕДЕЛЬНЫЙ ПЕРЕХОД

Известно [10], что аналоговые фильтры Баттерворта и Чебышева (I и II) являются предельными вариантами фильтров Золотарёва–Кауэра. На рисунке 7 дана схема предельных переходов в случае цифровых фильтров, из

которой видно, что от фильтров Золотарёва–Кауэра при определённых условиях (указанных на схеме) возможен переход к трём другим фильтрам. Кроме того, от фильтров Чебышева I и II можно перейти к фильтрам Баттерворта. Такие переходы могут привести к нарушению условий (1), что устраняется увеличением  $N$ .

Допустим, что порядки фильтров Золотарёва–Кауэра и Чебышева (I и II) выбраны, исходя из условия (1), идентичными, причём области S фильтров Чебышева I и II являются точечными. Тогда, согласно схеме предельных переходов, на рисунке 1г точке F соот-

# СПЕКТР

Тел.: +7 (495) 220-6493, 8 (960) 276-2841  
 Факс: +7 (812) 333-2755 (авт.)  
 info@spectr-pcb.ru • www.spectr-pcb.ru

## МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ



Компания СПЕКТР предлагает услуги по изготовлению и монтажу печатных плат.

Срочное изготовление опытных образцов.

Выполнение заказов любого объема.

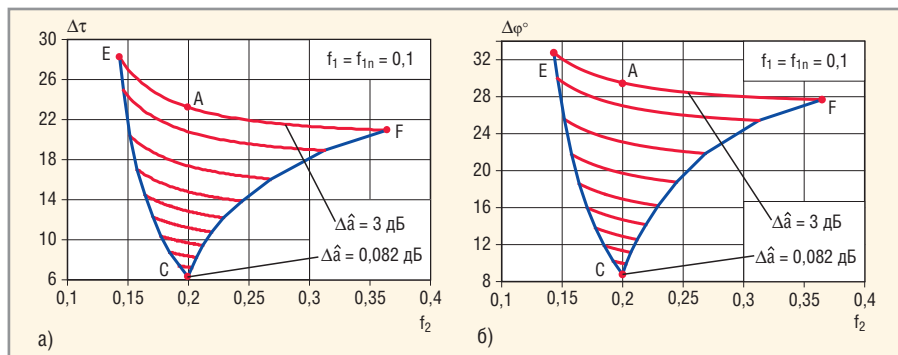


Рис. 6. Зависимости неравномерности ХГВЗ (а) и нелинейности ФЧХ (б) фильтров Золотарёва-Кауэра от граничной частоты  $f_2$  при требованиях (3),  $N = 4$ ,  $f_2 = 0,1$ ,  $\hat{a}_0 = 0,082; 0,13; 0,2; 0,32; 0,5; 0,76; 1,15; 1,7; 2,46$  и  $3$  дБ

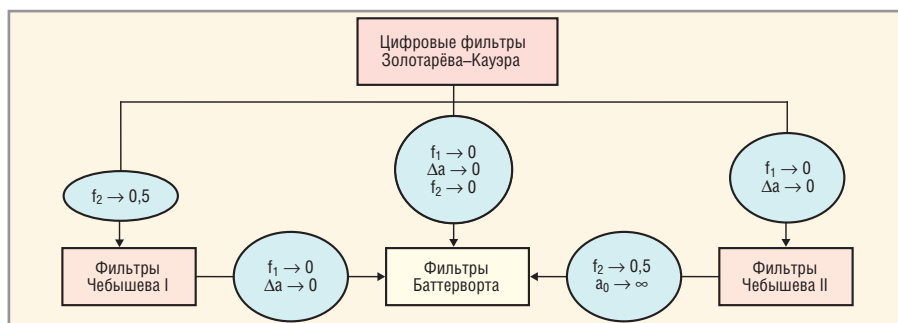


Рис. 7. Схема предельных переходов для цифровых фильтров

ветствует  $f_2 = 0,5$  и единственный фильтр Чебышева I, а точке D – равенство  $f_1 = \Delta a = 0$  и единственный фильтр Чебышева II.

Предположим теперь, что для всех четырёх обсуждаемых фильтров порядки идентичны и условия (1) выполняются с некоторым запасом. Тогда область S на рисунке 1г примет форму, показанную на рисунке 8, где можно видеть место трёх других фильтров. Фильтры Чебышева I располагаются в плоскости  $f_2 = 0,5$  в области, которая схожа по форме с изображенной на рисунке 1б. Фильтры Баттерворта размещаются в точке  $\Delta a = f_1 = 0$ , а фильтры Чебышева II – на отрезке прямой, соединяющей две жирные точки на линии пересечения плоскостей  $\Delta a = 0$  и

$f_1 = 0$ . Если обратиться к областям фильтров Чебышева I и II рисунков 1б и 1в, то здесь также можно указать место фильтров Баттерворта. На рисунке 1б – это точка  $\Delta a_{\min} = f_{1\min} = 0$ , а на рисунке 1в – это отрезок, который образован пересечением границ  $\hat{\Delta a} = \Delta a_{\max}$  и  $\hat{a}_0 = a_{0\min}$  с прямой линией  $f_2 = f_{2\max} = 0,5$ .

Предельный переход от фильтров Золотарёва-Кауэра к фильтрам Чебышева II и I можно дополнительно проиллюстрировать на конкретных зависимостях  $\Delta\tau$  (или  $\Delta\phi$ ) от  $f_1$  и  $\Delta\tau$  (или  $\Delta\phi$ ) от  $f_2$  соответственно. Ограничимся рассмотрением кривых  $\Delta\tau$  от  $f_1$  и  $\Delta\tau$  от  $f_2$  для требований (3).

На рисунке 9 представлены зависимости  $\Delta\tau$  от  $f_1$  фильтров Золотарёва-

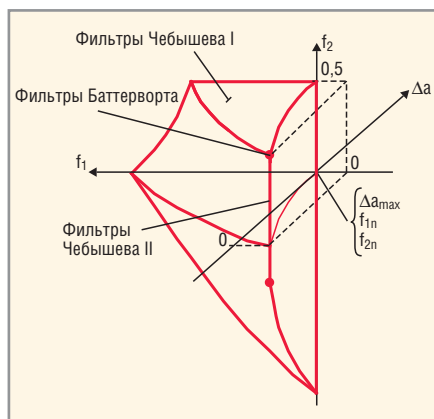


Рис. 8. Область допустимых исходных параметров фильтров Золотарёва-Кауэра

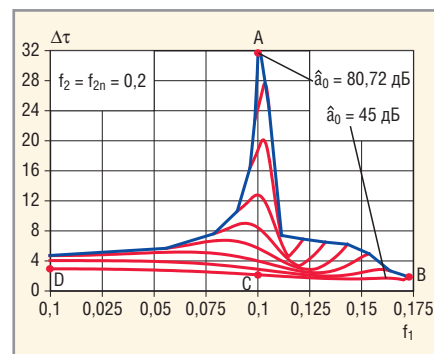


Рис. 9. Зависимости неравномерности ХГВЗ фильтров Золотарёва-Кауэра от граничной частоты  $f_1$  при требованиях (3),  $N = 5$ ,  $f_2 = 0,2$ ,  $\hat{a}_0 = 45; 50; \dots; 75; 78$  и  $80,72$  дБ

ва-Кауэра при  $N = 5, f_2 = f_{2n}$  для ряда значений  $\hat{a}_0$ . Отличие этого семейства кривых от показанного на рисунке 5а заключается в том, что три нижние кривые начинаются при  $f_1 = 0$ . Выполнить точный расчёт фильтров Золотарёва-Кауэра для  $f_1 = 0$  невозможно. Приближённый расчёт для трёх кривых можно выполнить для частоты  $f_1$ , близкой к 0. Здесь имеет место предельный переход к фильтрам Чебышева II. Точные значения  $\Delta\tau$  для трёх нижних кривых на частоте  $f_1 = 0$  можно получить, рассчитав фильтры Чебышева II при  $N = 5, f_2 = f_{2n}, a_0 = 45, 50$  и  $55$  дБ.

На рисунке 10 показаны зависимости  $\Delta\tau$  от  $f_2$  при  $N = 5, f_1 = f_{1n}$  для ряда значений  $\hat{\Delta a}$ . Отличие этого семейства от показанного на рисунке 6а заключается в том, что четыре верхние кривые заканчиваются при  $f_1 = 0,5$ . Расчёт фильтров Золотарёва-Кауэра для  $f_1 = 0,5$  даёт погрешность. Приближённый расчёт возможен для частоты  $f_2$ , близкой к 0,5. Здесь имеет место предельный переход к фильтрам Чебышева I. Точные значения  $\Delta\tau$  на частоте  $f_1 = 0,5$  для четырёх верхних кривых можно получить, рассчитав фильтры Чебышева I при  $N = 5, f_1 = f_{1n}, \Delta a = 0,352; 1,026; 1,852$  и  $3$  дБ.

### СРАВНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ

Выполним сравнение обсуждаемых классических фильтров, удовлетворяющих (1) при требованиях (3). На рисунках 11а и 11б представлены зависимости минимумов  $\Delta\tau$  и  $\Delta\phi$  от порядка фильтра  $N$  для четырёх рассматриваемых аппроксимаций. Видно, что в данном конкретном случае наилучшими являются фильтры Золотарёва-Кауэра, причём независимо от  $N$ . Затем следуют фильтры Чебышева II, Чебышева I и фильтр Баттерворта. В этом нет ничего удивительного, поскольку, как бы

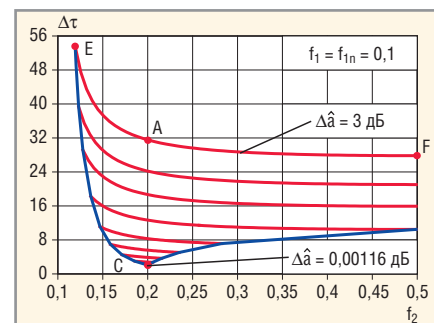


Рис. 10. Зависимости неравномерности ХГВЗ фильтров Золотарёва-Кауэра от граничной частоты  $f_2$  при требованиях (3),  $N = 5$ ,  $f_1 = 0,1$ ,  $\hat{a}_0 = 0,00116; 0,0365; 0,0116; 0,0365; 0,114; 0,352; 1,026; 1,852$  и  $3$  дБ

ло отмечено выше, фильтры Чебышева и Баттерворта являются лишь специальными вариантами фильтров Золотарёва–Кауэра, были предложены давно и не с целью достижения минимальных  $\Delta\tau$  и  $\Delta\varphi$ .

В таблицах 1–4 даны порядки фильтров  $N$  и найденные для них значения минимумов  $\Delta\tau$  и  $\Delta\varphi$ , отображённые на рисунках 11а и 11б. Здесь же указаны максимумы ХГВЗ в номинальной полосе пропускания  $\tau_{\max}$  и значения параметра  $K$ , фигурирующего в (2). Кроме того, представлены исходные параметры ( $f_1$  или  $\Delta a$  и  $f_1$  или  $a_0$  и  $f_2$ , в зависимости от аппроксимации), по которым получены все эти результаты. В случае фильтров Чебышева I (см. таблицу 2) и Золотарёва–Кауэра (см. таблицу 4) результаты для каждого  $N$  приведены в двух строках: первая соответствует минимуму неравномерности ХГВЗ, вторая – минимуму нелинейности ФЧХ.

Напомним, что для фильтров Баттерворта (см. таблицу 1) или Чебышева II (см. таблицу 3) значения минимумов  $\Delta\tau$  и  $\Delta\varphi$  достигаются при одних и тех же исходных параметрах. Если обратиться к зависимостям на рисунках 5а и 5б для фильтров Золотарёва–Кауэра, то можно увидеть, что существует диапазон значений  $f_1$ , для которых  $\Delta\tau$  и  $\Delta\varphi$  оказываются меньше, чем минимальные значения, полученные для фильтров Чебышева (I и II) и Баттерворта.

Дополнительные расчёты показывают, что расположение кривых на рисунках 11а и 11б может быть нарушено. Так, для достаточно широкой номинальной полосы пропускания фильтры Чебышева I могут иметь меньшие значения  $\Delta\tau$  и  $\Delta\varphi$ , чем фильтры Чебышева II.

### НЕБОЛЬШОЕ ОТСТУПЛЕНИЕ

Представим себе, что область  $S$  фильтра Золотарёва–Кауэра соответствует точке. Понятно, что никакие другие значения коэффициентов передаточной функции этого фильтра не позволят нам улучшить параметры ФЧХ или ХГВЗ без нарушения требований к АЧХ. В этой ситуации фильтры Золотарёва–Кауэра обладают не только оптимальными АЧХ, что им свойственно, но и оптимальными ХГВЗ и ФЧХ, которые в конкретных случаях могут оказаться совершенно неприемлемыми. С некоторыми оговорками подобные рассуждения можно отнести и к трём другим обсуждаемым здесь классическим фильтрам, АЧХ которых являются в определённом смысле

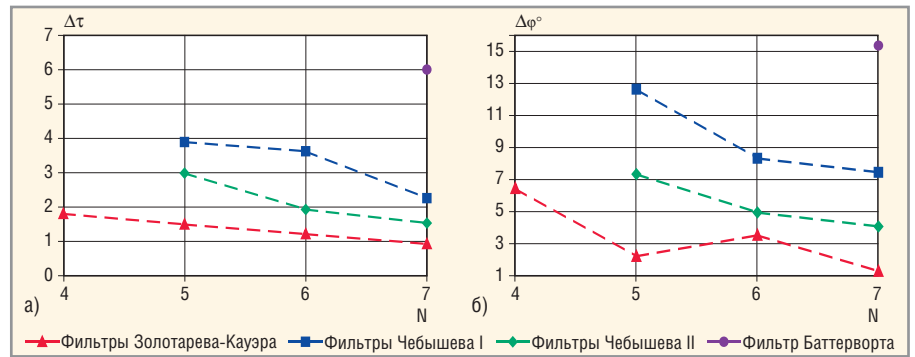


Рис. 11. Зависимости минимумов неравномерности ХГВЗ (а) и нелинейности ФЧХ (б) от порядка различных фильтров при требованиях (3)

оптимальными. Получить лучшее соотношение между параметрами рассматриваемых характеристик можно, увеличив порядок собственно фильтра и/или добавив корректор. В этой связи возникает проблема выбора порядков фильтра и корректора, а также исходных параметров. В конце статьи мы затронем задачу выравнивания ХГВЗ фильтров Золотарёва–Кауэра.

### КВАНТОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Метод вариации исходных параметров (ВИП) успешно применялся для

получения допустимых АЧХ некоторых структур фильтров с квантованными коэффициентами (см., например, [11]). Суть метода заключается в нахождении такой точки в области  $S$ , для которой последующее квантование (округление) коэффициентов с шагом  $q = 2^{-M}$  приводит к оптимальному решению. Здесь  $M$  – максимальная длина слова мантииссы коэффициентов. Ниже на двух примерах мы покажем, какие результаты можно достичь, решая эту задачу при дополнительном требовании к ХГВЗ, а именно при  $\Delta\tau \rightarrow \min$ . Ограничимся рассмотрением

Таблица 1. Параметры ХГВЗ и ФЧХ фильтра Баттерворта с требованиями (3) и соответствующая исходная  $f_1$

N	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta\varphi$	K	$f_1$
7	6,02	12,50	15,36	-7,5436	0,10617

Таблица 2. Параметры ХГВЗ и ФЧХ фильтров Чебышева I с требованиями (3) и соответствующие исходные  $\Delta a, f_1$

N	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta\varphi$	K	$\Delta a, \text{дБ}$	$f_1$
5	3,90	8,67	12,76	-6,2055	1,492	0,11565
	4,69	9,64	12,64	-6,2762	1,233	0,11365
6	3,63	9,34	9,04	-6,6040	0,249	0,1201
	5,02	10,06	8,33	-6,4492	1,058	0,1320
7	2,27	7,97	7,95	-6,6228	0,842	0,1448
	2,77	8,88	7,45	-6,7318	0,311	0,13775

Таблица 3. Параметры ХГВЗ и ФЧХ фильтров Чебышева II с требованиями (3) и соответствующие исходные  $a_0, f_2$

N	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta\varphi$	K	$a_0, \text{дБ}$	$f_2$
5	2,99	6,25	7,34	-3,7933	45	0,2
6	1,93	4,97	4,95	-3,4140		
7	1,53	4,44	4,07	-3,2246		

Таблица 4. Параметры ХГВЗ и ФЧХ фильтров Золотарёва–Кауэра с требованиями (3) и соответствующие исходные  $\Delta a, f_1$

N	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta\varphi$	K	$\Delta a, \text{дБ}$	$f_1$
4	1,80	4,45	7,73	-3,5310	1,147	0,13075
	2,69	5,71	6,45	-3,7176	0,467	0,1195
5	1,49	3,78	5,17	-3,0023	2,384	0,17025
	1,74	4,41	2,21	-3,0285	1,275	0,1641
6	1,21	3,86	3,87	-3,0147	0,243	0,1712
	1,26	4,03	3,53	-3,0680	0,066	0,1623
7	0,91	3,28	3,21	-2,8152	1,72	0,1918
	1,02	3,61	1,28	-2,8070	0,951	0,18965

каскадных фильтров Золотарёва–Кауэра на звеньях не выше второго порядка и прямой формы. При этом масштабирование в фильтрах проигнорируем. Используем трёхпараметрический алгоритм ВИП [11], с помощью которого при фиксированном значении  $M$  осуществим поиск всех решений с допустимыми АЧХ и выбор решения с минимальным значением  $\Delta\tau$ .

В первом примере мы удовлетворим (1) при требованиях (3) и  $\Delta\tau \rightarrow \min$  для фильтра с квантованными коэффициентами. Результаты представлены в таблице 5 для  $N=4$  (при  $M=4$  и 5) и  $N=5$  (при  $M=3$ ). Здесь указаны полученные  $\Delta\tau$  и соответствующие им исходные параметры. Видно, что квантование коэффициентов ( $M \neq \infty$ ) не приводит к ухудшению решений с непрерывными коэффициентами ( $M = \infty$ ). Наблюдается даже заметное уменьшение  $\Delta\tau$  при  $M=5$  и особенно при  $M=3$ . Однако для других требований решение с квантованными коэффициентами может оказаться хуже, чем с непрерывными.

Второй пример, для которого  $N=4$ ,  $M=7$ ,  $f_{1n}=0,2$  и  $f_{2n}=0,3$ , возьмём из [12]. Авторы этой работы использовали сложную многокритериальную целевую функцию для получения фильтра

с квантованными коэффициентами, который должен обладать приемлемыми АЧХ и ХГВЗ. Дополнительные ограничения накладываются на максимальный полюсный радиус  $r$ . Решение задачи было найдено методом имитации процесса отжига (ИПО), приводящим к результатам, близким к глобальному оптимуму. В таблице 6 в колонке ИПО представлены параметры полученного фильтра [12]. Кроме того, там приведены параметры, соответствующие простому округлению (ПО) коэффициентов фильтра Золотарёва–Кауэра, а также найденные нами с помощью упомянутого алгоритма ВИП. Видно, что ПО уступает методу ИПО по  $\Delta\tau$  и  $1-r$ . В то же время, алгоритм ВИП при  $M=5$ , а не  $M=7$ , как в [12], приводит к результатам, которые несколько лучше достигнутых с помощью ИПО. При  $M=4$  алгоритм ВИП проигрывает методу ИПО лишь по достигнутому максимуму  $1-r$ . Два найденных с помощью ВИП решения можно воспроизвести, рассчитав фильтры Золотарёва–Кауэра по следующим двум наборам исходных параметров:  $\Delta a = 0,2133$  дБ,  $f_1 = 0,2328$ ,  $f_2 = 0,2968$  и  $\Delta a = 0,00649$  дБ,  $f_1 = 0,1822$ ,  $f_1 = 0,3006$ . Далее коэффициенты фильтров округляются до  $M=4$  для первого и  $M=5$  для

второго набора исходных. Передаточная функция для второго варианта имеет вид:

$$H(z) = \frac{1 + 1,6875z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0,15625z^{-1} + 0,09375z^{-2}} \times \frac{1 + 0,75z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0,15625z^{-1} + 0,625z^{-2}}$$

Путём расчёта можно убедиться, что этой передаточной функции  $H(z)$  действительно отвечают параметры таблицы 6 для случая  $M=5$ .

### СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ АППРОКСИМАЦИЯМИ

Далее покажем, что, используя фильтры Золотарёва–Кауэра с оптимальными исходными параметрами, можно улучшить результаты, ранее полученные с помощью двух оригинальных аппроксимаций. Первая из них соответствует фильтрам с неравным числом полюсов и нулей [13, 14], а вторая – фильтрам на основе параллельного соединения двух фазовых цепей с приближённо линейной ФЧХ [15].

### АППРОКСИМАЦИИ С НЕРАВНЫМ ЧИСЛОМ ПОЛЮСОВ И НУЛЕЙ

Порядки знаменателя и числителя передаточной функции классических фильтров идентичны. В работах [13, 14] предложены численные аппроксимации с неравными порядками или – иначе – с неравным числом полюсов и нулей. На примерах, в частности, в [13], показано, что если порядок знаменателя равен  $N_1 = 2$ , а порядок числителя  $N_2$  выбирается, исходя из удовлетворения (1), то такой фильтр обладает хорошими параметрами ХГВЗ. Рассмотрим три варианта значений параметров в (1):

- [13]:  $\Delta a_{\max} = 1$  дБ,  $a_{0\min} = 60$  дБ,  $f_{1n} = 0,1$  и  $f_{2n} = 0,15$ ;
- [13]:  $\Delta a_{\max} = 1$  дБ,  $a_{0\min} = 60$  дБ,  $f_{1n} = 0,2$  и  $f_{2n} = 0,3$ ;
- [14]:  $\Delta a_{\max} = 0,4$  дБ,  $a_{0\min} = 30$  дБ,  $f_{1n} = 0,2$  и  $f_{2n} = 0,2465$ .

Результаты [13, 14] для этих данных представлены в таблице 7. В фильтрах [13] числитель передаточной функции представляет собой зеркально-симметричный полином и поэтому обладает линейной ФЧХ. В фильтре [14] числитель содержит шесть комплексных нулей на единичной окружности и один действительный нуль внутри этой окружности. В таблице 7 также приведены результаты для фильтров Золота-

Таблица 5. Результаты синтеза двух фильтров с квантованными коэффициентами

N	M	$\Delta\tau$	$\Delta a$ , дБ	$f_1$	$f_2$
4	$\infty$	1,80	1,147	0,13075	0,2
	4	1,80	1,168	0,122	0,205
	5	1,19	0,898	0,127	0,2
5	$\infty$	1,49	2,384	0,17025	0,2
	3	0,63	0,224	0,1321	0,2135

Таблица 6. Результаты синтеза фильтра четвёртого порядка с квантованными коэффициентами

Параметры фильтра	Алгоритм			
	ИПО [12]	ПО [12]	ВИП	
	M = 7		M = 4	M = 5
$\Delta a$ , дБ	0,26	0,38	0,24	0,19
$\hat{a}_0$ , дБ	31,57	41,80	32,44	31,78
$\Delta\tau$	2,444	6,697	1,826	2,394
$1-r$	0,209	0,153	0,134	0,209

Таблица 7. Сравнение двух подходов к проектированию фильтров

Вариант	$N_1$	$N_2$	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta a$ , дБ	$f_1$	$f_2$
1	2	16	15,3	22,2	–	–	–
	6	6	34,6	40,5	1	0,1	0,15
			8,1	13,0	0,687	0,113	0,15
2	2	8	7,55	11,0	–	–	–
	5	5	13,1	15,6	1	0,2	0,3
			4,2	6,3	1	0,21926	0,3
3	2	7	~8	~10	–	–	–
	5	5	20,32	22,1	0,4	0,2	0,2203
			3,8	5,3	0,4	0,2256	0,2465
			6,38	7,9	0,00369	0,18157	0,2465

рёва–Кауэра ( $N_1 = N_2$ ) и указаны исходные параметры, по которым они получены. Видно, что если расчёт этих фильтров выполнен без оптимизации исходных параметров [13] или с предельно уменьшенной  $f_2$  [14] (первые строки в случаях  $N_1 = N_2$ ), то они действительно проигрывают фильтрам с  $N_1 \neq N_2$  по достигнутым минимумам  $\Delta t$ . Если же расчёт проведён с учётом оптимизации исходных параметров (вторая строка в случаях  $N_1 = N_2$ ), то фильтры Золотарёва–Кауэра оказываются предпочтительнее предложенных в [13, 14] как по  $\Delta t$ , так и по  $\tau_{\max}$  (иногда желательно иметь  $\tau_{\max} \rightarrow \min$ ).

Авторы работы [14] отмечают, что их подход (при  $N_1 \neq N_2$ ) приводит к решению с полюсным радиусом  $r = 0,888$ . В то же время, рассчитанный в [14] фильтр Золотарёва–Кауэра (таблица 7, вариант 3, первая строка в случаях  $N_1 = N_2$ ) имеет максимальное значение  $r = 0,953$ . Заметим, что для найденного нами оптимизированного фильтра (первая строка в случаях  $N_1 = N_2$ )  $r = 0,951$ . Для варианта 3 в таблице 7 при  $N_1 = N_2$  дана третья строка результатов, которым соответствует  $r = 0,880$ . Указанное здесь значение  $\Delta t$  уступает оптимальному (вторая строка), но всё же меньше достигнутого в [14].

### Аппроксимация с приближённо линейной ФЧХ

Частным случаем фильтров на основе параллельного соединения двух фазовых цепей являются фильтры с чистой задержкой в качестве одной из этих цепей. Проектирование таких фильтров с требованиями (1) к АЧХ сводится к получению приближённо линейной ФЧХ (ПЛФЧХ) для другой фазовой цепи. Это обеспечивает ПЛФЧХ всего фильтра. Аналитических соотношений для такого проектирования, в отличие от общего случая, когда каждая из двух фазовых цепей не является чистой задержкой, не существует, поэтому используют численные алгоритмы. Интересно сравнить фильтры с ПЛФЧХ [15] и оптимизированные фильтры Золотарёва–Кауэра на основе параллельного соединения двух фазовых цепей.

В таблице 8 представлены результаты, полученные в [15], при следующих параметрах в (1):  $\Delta a_{\max} = 0,1$  дБ,  $a_{0\min} = 40$  дБ,  $f_{1n} = 0,05$ ,  $a_{f_{2n}} = 0,075$  и  $0,1$ . Для каждого значения  $f_{2n}$  показаны два альтернативных результата, найденных

нами и относящихся к фильтрам Золотарёва–Кауэра. Кроме того, указаны исходные параметры, по которым они получены. Здесь  $A_L(z)$  – фазовая цепь порядка  $L$ . Видно, что фильтры [15] уступают фильтрам Золотарёва–Кауэра как по сложности передаточной функции  $H(z)$ , так и по соответствующим значениям  $\Delta t$  и  $\tau_{\max}$ . Следует, однако, заметить, что для двух других вариантов требований [15], которые будут рассмотрены ниже, фильтры Золотарёва–Кауэра уступают фильтрам [15].

### Выравнивание ХГВЗ

На сегодняшний день не существует аналитического решения задачи одновременного получения желаемых АЧХ и ХГВЗ (или ФЧХ) для БИХ-фильтров. Поэтому для решения этой сложной проблемы были предложены многочисленные алгоритмы оптимизации (см. [16, 17] и ссылки в этих работах). Часто задачу упрощают, используя выравнивание ФЧХ или ХГВЗ с помощью фазового корректора (ФК), включенного последовательно с фильтром (см. ссылки в [16, 17]).

Синтез ФК также выполняется численными методами, но сфокусирован только на параметрах одной характеристики – ФЧХ или ХГВЗ, поскольку желаемая АЧХ может быть определена аналитически. При этом часто оказывается, что общий прыжок (фильтр + ФК) достаточно высок, что усложняет реализацию фильтра в целом.

Здесь мы покажем, что порядок ФК может быть приемлемым и что результаты выравнивания сильно зависят от исходных параметров, по которым рассчитаны классические фильтры, а также от порядков фильтра и ФК. Вы-

равнивание ХГВЗ для всех рассмотренных ниже фильтров выполним с применением программы Piclor [18].

### ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТОГО КОРРЕКТОРА

Обратимся к двум вышеупомянутым вариантам требований к АЧХ, для которых оптимизированные фильтры Золотарёва–Кауэра имеют значения  $\Delta t$  большие, чем фильтры с ПЛФЧХ [15]. Для этих вариантов  $\Delta a_{\max} = 1.e-3$  дБ и  $\Delta a_{\max} = 1.e-5$  дБ, а три других параметра –  $a_{0\min} = 40$  дБ,  $f_{1n} = 0,05$  и  $f_{2n} = 0,1$  – идентичны.

В таблице 9 приведены результаты [15] для фильтров с ПЛФЧХ, а также полученные нами для фильтров Золотарёва–Кауэра без и с ФК второго порядка. Расчёты фильтров выполнены для точки С области на рисунке 1г. При этом исходные  $f_1 = f_{1n}$ ,  $f_2 = f_{2n}$ , а  $\Delta a = 0,00097$  дБ для первого и  $\Delta a = 3.e-7$  дБ для второго варианта требований. Полученные нами  $\Delta t$  несколько больше минимальных значений, которые в данных случаях соответствуют точке В области на рисунке 1г.

Из таблицы 9 следует, что использование простого ФК позволяет существенно уменьшить значения  $\Delta t$ , достигнутые в [15]. Кроме того, такой подход даёт более простые реализации передаточных функций  $H(z)$ . Заметим также, что представленные фильтры с ФК в одном случае имеют большее, а в другом – меньшее значение  $\tau_{\max}$ , чем фильтры с ПЛФЧХ. Найденные коэффициенты передаточной функции ФК прямой формы  $A_2'(z)$  равны  $c_1 = -1,52359375$ ,  $c_2 = 0,59642167$  для первого и  $c_1 = -1,42842773$ ,  $c_2 = 0,52654699$  для второго варианта требований.

Таблица 8. Сравнение фильтров с ПЛФЧХ и фильтров Золотарёва–Кауэра

$f_{2n}$	Фильтр	$H(z)$	$\Delta t$	$\tau_{\max}$	$\Delta a_{\max}$ дБ	$f_1$
0,075	ПЛФЧХ	$A_{16}(z) + z^{-15}$	10,2	24,4	–	–
	ЗК	$A_3(z) + A_4(z)$	6,34	13,7	0,1	0,06813
			8,54	16,1	5,08e-5	0,05
0,1	ПЛФЧХ	$A_8(z) + z^{-7}$	4,78	11,0	–	–
	ЗК	$A_2(z) + A_3(z)$	2,87	8,8	0,1	0,07172
			3,83	9,9	0,00097	0,05

Таблица 9. Сравнение фильтров с ПЛФЧХ и фильтров Золотарёва–Кауэра с и без ФК

$\Delta a_{\max}$ дБ	Фильтр	$H(z)$	$\Delta t$	$\tau_{\max}$
1,е-3	ПЛФЧХ	$A_{13}(z) + z^{-12}$	1,18	13,0
	ЗК ( $N = 5$ )	$A_2(z) + A_3(z)$	3,83	9,9
	ЗК + ФК	$[A_2(z) + A_3(z)]A_2'(z)$	0,390	17,5
1,е-5	ПЛФЧХ	$A_{17}(z) + z^{-16}$	0,549	16,5
	ЗК ( $N = 7$ )	$A_3(z) + A_4(z)$	2,56	8,3
	ЗК + ФК	$[A_3(z) + A_4(z)]A_2'(z)$	0,129	15,4

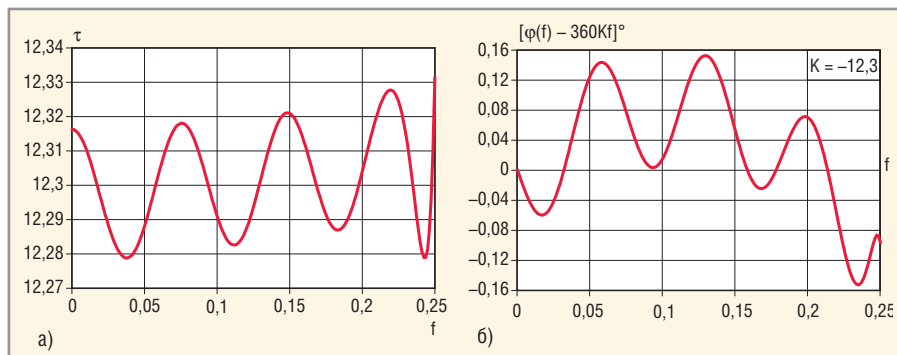


Рис. 12. ХГВЗ (а) и характеристика отклонения ФЧХ от прямой линии (б) для фильтра Золотарёва–Кауэра пятого порядка с ФК седьмого порядка

**Исходные параметры и порядки фильтра и корректора**

Выполним выравнивание ХГВЗ для фильтра Золотарёва–Кауэра, АЧХ которого удовлетворяет (1) при  $\Delta a_{\max} = 0,376$  дБ,  $a_{0\min} = 53,5$  дБ,  $f_{1n} = 0,025$  и  $f_{2n} = 0,05$ .

В таблице 10 представлены результаты для  $N=5$  (минимальный порядок) и  $N=6$ . Выравнивание проведено для точек А, В, С и D (см. рис. 1г) с помощью ФК пятого и шестого порядков. Результирующий порядок каждого из фильтров равен 10 и 12, что требует при реализации 12 и 15 умножителей соответственно, с учётом каскадной реализации фильтров на звеньях не выше второго порядка с двумя умножителями на звено. Для каждой точки

представлены полученные параметры ХГВЗ и ФЧХ до (верхняя строка) и после (нижняя строка) выравнивания, а также исходные параметры  $\Delta a, f_1$ . Напомним, что для всех рассматриваемых точек  $f_2 = f_{2n}$ . Наилучшее решение в смысле минимума  $\Delta\tau$ , без ФК получено в точке В для каждого  $N$ , а с ФК – в точке В при  $N=5$  и в точке D при  $N=6$ .

Мы наблюдаем сильное различие степени выравнивания ХГВЗ для точки А в сравнении с результатами для трёх других точек. Максимальное отличие по  $\Delta\tau$  достигает более  $9,25/0,224 \approx 41$  раза при  $N=5$  и более  $21,35/0,018 \approx 1100$  раз при  $N=6$ . Для улучшения результатов выравнивания в точке А требуется увеличить порядок ФК. Однако выравнивание при  $N=5$  с помощью ФК одиннадцатого порядка для точки,

близкой к А, даёт лишь  $\Delta\tau = 1,57$  [19] против достигнутого нами  $\Delta\tau = 0,246$  в точке В при  $N=5$  и ФК пятого порядка. Таким образом, выполненное в [19] на ряде примеров сравнение с методом выравнивания ХГВЗ требует уточнения.

Следует отметить, что предложенный численный метод проектирования фильтров с равноволновыми АЧХ и ХГВЗ [19] приводит к превосходным решениям с экстремально низкими  $\Delta\tau$ . В частности, для обсуждаемого примера авторы [19] получили  $\Delta\tau = 0,0003$ ,  $\tau_{\max} = 63,5$ ,  $\Delta\hat{a} = 0,376$  дБ и  $\hat{a}_0 = 53,5$  дБ. Это решение соответствует последовательному соединению БИХ-фильтра двенадцатого порядка без нулей передачи и КИХ-фильтра с линейной ФЧХ восьмого порядка. Сложность всего фильтра – 17 умножителей. Заметим, что полученное в [19]  $\tau_{\max}$  меньше, чем любое значение, представленное в таблице 10 для варианта с ФК.

Проведём выравнивание ХГВЗ для ещё одного фильтра, АЧХ которого удовлетворяет (1) при  $\Delta a_{\max} = 0,5$  дБ,  $a_{0\min} = 32$  дБ,  $f_{1n} = 0,25, f_{2n} = 0,3$ . В этом случае область S на рисунке 1г для фильтра Золотарёва–Кауэра при  $N=4$  является почти точкой, и улучшить ХГВЗ можно, лишь увеличив порядок фильтра и/или добавив ФК.

В таблице 11 представлены результаты выравнивания ХГВЗ фильтра Золотарёва–Кауэра при  $N=4$  с ФК восьмого порядка [20] и полученные нами при  $N=5$  с ФК седьмого и шестого порядков. Оба наших решения соответствуют точке В ( $\Delta a = \Delta a_{\max}, f_1 = f_{1\max} = 0,2780666, f_2 = f_{2n}$ ) области S на рисунке 1г. Для точек С и D результаты выравнивания оказались хуже. Кроме параметров ХГВЗ и ФЧХ, в таблице 11 указаны порядки составных фильтров (собственно фильтров и ФК), а также число содержащихся в них умножителей (знак ×) в случае их каскадной реализации. По первым трём строкам таблицы видно, что результаты [20] существенно улучшены, причём без усложнения всего фильтра. Найденные коэффициенты звеньев ФК седьмого порядка  $c_1, c_2$  равны:

- $-0,70055859, 0,35208008$  – звено 1;
- $-0,26747656, 0,37754597$  – звено 2;
- $-1,03277734, 0,33848115$  – звено 3;
- $-0,57729687, 0$  – звено 4.

Последовательное соединение фильтра Золотарёва–Кауэра и этого ФК даёт ХГВЗ на рисунке 12а и характеристику отклонения ФЧХ от прямой линии

Таблица 10. Параметры ХГВЗ и ФЧХ фильтров Золотарёва–Кауэра с и без ФК

N	Точка	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta\varphi$	K	$\Delta a$ , дБ	$f_1$
5	А	49,9	71,8	20,8	-27,46	0,376	0,025
		9,3	113,3	2,5	-108,54		
	В	10,3	26,9	8,3	-18,78	0,376	0,0311357
		0,224	72,2	0,075	-72,09		
	С	19,3	36,8	10,3	-20,31	0,0270627	0,025
		0,643	86,3	0,177	-86,02		
	D	22,9	40,6	12,3	-21,09	0,006463	0,0220378
		0,421	87,9	0,123	-87,70		
6	А	77,8	104,3	28,7	-35,19	0,376	0,025
		21,4	151,0	6,4	-137,4		
	В	7,3	21,7	4,7	-16,64	0,376	0,0382449
		0,119	83,6	0,047	-83,50		
	С	11,2	27,6	6,7	-18,46	0,0004809	0,025
		0,093	87,5	0,027	-87,44		
	D	16,7	33,8	9,9	-19,91	6,26e-11	0,0071248
		0,018	90,3	0,0045	-90,33		

Таблица 11. Параметры ХГВЗ и ФЧХ фильтров, полученные в различных публикациях

Источник	$\Delta\tau$	$\tau_{\max}$	$\Delta\varphi$	K	Порядок	×
[20]	1,32	16,6	2,22	-15,95	4 + 8 = 12	6 + 8 = 14
Данная статья	0,052	12,3	0,154	-12,30	5 + 7 = 12	7 + 7 = 14
	0,094	11,0	0,252	-10,94	5 + 6 = 11	7 + 6 = 13
[21]	0,16	15,2	0,262	-15,1	12	24
[22]	0,036	14,0	0,063	-14,0	12	22
[17]	0,031	14,0	0,042	-14,0	12	24

( $\phi(f) - K360f$ ) на рисунке 12б. Эти характеристики подтверждают параметры таблицы 11 для решения с ФК седьмого порядка.

В трёх нижних строках таблицы 11 представлены также результаты решения задачи одновременного получения желаемых АЧХ и ХГВЗ (ФЧХ) [17, 21, 22] для фильтра двенадцатого порядка с равным числом нулей и полюсов. Значения  $\Delta t$ ,  $\Delta\phi$  для найденных нами решений находятся между достигнутыми в [21] и [17, 22]. Здесь мы получили наименьшие  $\tau_{\max}$ . По числу умножителей фильтры [17, 21, 22] значительно проигрывают фильтрам Золотарёва–Кауэра с коррекцией ХГВЗ.

Таким образом, на примерах мы убедились, что выбор исходных параметров АЧХ, порядков фильтра и корректора существенно влияют на результаты выравнивания ХГВЗ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неравномерность ХГВЗ и/или нелинейность ФЧХ в номинальной полосе пропускания классических цифровых БИХ-фильтров могут быть минимизированы с помощью выбора исходных параметров АЧХ в пределах определенной области допуска. Мы ограничились рассмотрением только фильтров нижних частот с АЧХ Баттерворта, Чебышева (I и II) и Золотарёва–Кауэра.

Для фильтров Баттерворта и Чебышева II максимальное уменьшение неравномерности АЧХ в полосе пропускания приводит к минимуму неравномерности ХГВЗ и нелинейности ФЧХ. При этом для фильтров Чебышева II это достигается прямым расчётом по исходным предельно допустимым параметрам.

Для фильтров Чебышева I и Золотарёва–Кауэра требуется найти два исходных параметра, а именно, неравномерность АЧХ в полосе пропускания и граничную частоту этой полосы. Процедура сводится к простому однопараметрическому поиску. Для этих фильтров минимум неравномерности ХГВЗ не обязательно соответствует минимуму нелинейности ФЧХ, и наоборот.

Наилучшие результаты по параметрам ХГВЗ и ФЧХ даёт аппроксимация Золотарёва–Кауэра, затем Чебышева II или Чебышева I (в зависимости от ширины номинальной полосы пропускания) и лишь потом – аппроксимация Баттерворта. При этом подразумевает-

ся, что все фильтры удовлетворяют заданным требованиям к АЧХ и имеют идентичные порядки.

На конкретных примерах проиллюстрировано, что оптимизированные фильтры Золотарёва–Кауэра не уступают по минимально достижимой неравномерности ХГВЗ ранее предложенным в литературе фильтрам с неравным числом полюсов и нулей.

Для решения задачи минимизации неравномерности ХГВЗ фильтра с квантованными коэффициентами можно применить метод вариации исходных параметров. Полученные результаты для конкретных примеров существенно лучше решений, найденных методом простого округления и одним из эффективных алгоритмов вариации коэффициентов на дискретном множестве их значений.

Степень выравнивания ХГВЗ с помощью фазовых корректоров может очень сильно зависеть от исходных параметров АЧХ фильтров. Так, разброс результатов выравнивания для конкретного фильтра Золотарёва–Кауэра достигает более 1100 раз. Степень выравнивания ХГВЗ существенно зависит также от порядков фильтра и корректора. Поэтому задачу выравнивания ХГВЗ желательно решать комплексно, с учётом всех факторов влияния. Представляется, что сравнения метода одновременной аппроксимации АЧХ и ХГВЗ с методом выравнивания ХГВЗ классических фильтров, выполненные в ранних публикациях, требуют уточнений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Мингазин А.Т.* Начальные приближения для синтеза цифровых фильтров с минимальной длиной слова коэффициентов. Электронная техника. 1983. Сер. 10. № 6. С. 3–8.
2. *Савченко С.М., Смирнов Э.Е.* Улучшение частотных характеристик эллиптических фильтров. Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1976. Т. XIX. № 6. С. 113–116.
3. *Мингазин А.Т.* Способ улучшения характеристик затухания фильтров. Радиотехника. 1985. № 9. С. 89–91.
4. *Vlcek M., Unbehauen R.* Degree, ripple and transition width of elliptic filters. IEEE Trans. CAS-36. 1989. № 3. PP. 469–472/
5. *Мингазин А.Т.* Экстремальные параметры аналоговых и цифровых фильтров. Электросвязь. 1999. № 1. С. 22–23.
6. *Tosic D.V., Lutovac M. D., Evans B.L.* Advanced digital IIR filter design. ECCTD. 1999. PP. 1323–1326.

7. *Corral C.A., Lindquist C.S.* Design for optimum classical filters. Proc. IEE Circuit Devices Syst. 2002. Vol. 149. № 5/6. PP. 291–301.
8. *Алёшин Д.В., Мингазин А.Т.* Программа для расчёта экстремальных параметров цифровых и аналоговых фильтров и ее применение. Цифровая обработка сигналов. 2006. № 1. С. 45–49.
9. *Dimopoulos H.G.* Optimal use of some classical approximations in filter design. IEEE Trans. CAS-II. 2007. Vol. 54. № 9. PP. 780–784.
10. Мошитц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров. Мир, 1984.
11. *Мингазин А.Т.* Синтез цифровых фильтров для высокоскоростных систем на кристалле. Цифровая обработка сигналов. 2004. № 2. С. 14–23.
12. *Radecki J., Konrad J., Dubois E.* Design of finite wordlength IIR filters with prescribed magnitude, group delay and stability properties using simulated annealing. ICASSP. 1991. PP. 1637–1640.
13. *Jackson L.B.* An improved Martinez/Parks algorithm for IIR design with unequal numbers of poles and zeros. IEEE Trans. SP-42. 1994. № 5. PP. 1234–1238.
14. *Quelbas M.F., Petraglia A.* Digital filter design optimization using partial cost functions. ISCAS. 2009. PP. 285–288.
15. *Jobansson H., Wanbamm L.* Design of linear-phase lattice wave digital filters. Report LiTH-ISY-R1930. 1997.
16. *Guindon D., Shpak D.J., Antoniou A.* Design methodology for nearly linear-phase recursive digital filters by constrained optimization. IEEE Trans. CAS-I. 2010. V. 57. № 7. PP. 1719–1731.
17. *Lai X., Lin Z.* Minimax phase error design of IIR digital filters with prescribed magnitude and phase responses. IEEE Trans. SP-60. 2012. № 2. PP. 980–986.
18. *Зорич А.А., Мингазин А.Т.* Программа интерактивного управления дислокацией корней полиномов числителя и знаменателя передаточных функций цифровых фильтров. Электросвязь. 1995. № 5. С. 36–37.
19. *Saramaki T., Neuvo Y.* Digital filters equiripple magnitude and group delay. IEEE Trans. ASSP-32. 1984. № 6. PP. 1194–1200.
20. *Deczky A.G.* Equiripple and minimax (Chebyshev) approximation for recursive digital filters. IEEE Trans. ASSP-22. 1974. № 2. PP. 98–111.
21. *Imukai T.* A unified approach to optimal recursive digital filter design. IEEE Trans. CAS-27. 1980. № 7. PP. 646–649.
22. *Sullivan J.L., Adams J.W.* PCLS IIR digital filters with simultaneous frequency response magnitude and group delay specifications. IEEE Trans. SP-46. 1998. № 11. PP. 2853–2861.



## «РТСОФТ» ВЕРИФИЦИРУЕТ СОВРЕМЕННОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПЛАТ-НОСИТЕЛЕЙ COM EXPRESS СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ НОВЕЙШИХ ВСТРАИВАЕМЫХ ПРОЦЕССОРОВ INTEL CORE 3-ГО ПОКОЛЕНИЯ И INTEL ATOM D/N2XXX

«РТСОФТ» завершил верификацию собственных плат-носителей компьютерных модулей стандарта COM Express холдинга Kontron AG на основе новых встраиваемых процессоров Intel Core 3-го поколения (Ivy Bridge) и Intel Atom серии D/N2xxx (Cedarview). «РТСОФТ» предлагает клиентам протестированные платы-носители отечественного производства, имеющие доказанную совместимость с новейшими процессорными модулями COM Express для ускоренной разработки малогабаритных встраиваемых компьютерных систем самого широкого назначения: оборона и авиакосмос, промышленная автоматизация, телекоммуникации, транспорт, Digital Signage, приборостроение, инфотеймент.

В ходе верификации были успешно проверены все базовые функциональные интерфейсы новых модулей COM Express: PCI Express, GEthernet, USB 2.0/3.0, коммуникации, подсистемы вторичного электропитания и др. Особое внимание уделено проверке совместимости популярных GSM 3G, GPRS, WiFi, LTE модулей ввода-вывода в форм-факторе Mini PCI Express с подсистемой носитель и современный процессорный модуль COM Express.

В числе протестированных плат-носителей – современная версия носителя «Кена», которая оптимизирована для работы с беспроводными коммуникациями. Она может применяться как самостоятельный продукт или в качестве инструментальной платформы для разработки бюджетных встраиваемых решений. «Кена» новых версий поддерживает модули COM Express Type 2 и Type 6; эти платы рекомендуется использовать с процессорами Intel Core i5/i7 3-го поколения. Реализована поддержка интерфейсов USB 3.0, SATA III, DisplayPort, а также расширений для беспроводной связи LTE, GPRS, 3G GSM, Wi-Fi.

Одним из примеров системных решений «РТСОФТ» на основе другого

собственного носителя COM Express является HMI-платформа жёсткого исполнения, построенная с применением Intel Atom D/N2xxx. Она предназначена для использования в неблагоприятных условиях эксплуатации в проектах «РТСОФТ» в области промышленной автоматизации. Этот носитель быстро и бюджетно адаптируется для создания компактных решений иного назначения.

«Верификация собственных универсальных носителей с новейшим поколением оборудования COM Express от ведущих мировых производителей, использующих крайние поколения микропроцессоров Intel, принципиально необходима и важна. Без этого сложно обеспечивать ответственные рекомендации по использованию новейшего оборудования COM Express и практически невозможно снижать риски в условиях растущих давлений по бюджетированию и срокам выпуска новых отраслевых решений, – комментирует технический директор ЗАО «РТСОФТ» Алексей Рыбаков. – С помощью недорогих носителей COM Express от «РТСОФТ» отечественные разработчики и производители встраиваемых систем смогут быстро воспользоваться всеми преимуществами новейших

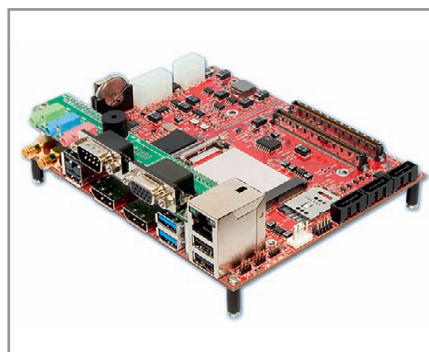


платформ Intel, повысить качество своих прикладных решений, снизить стоимость разработки наряду с сокращением циклов разработки и производства».

Важным фактором успеха на пути ускоренного создания отечественных встраиваемых приложений с оптимизированными свойствами и минимальными бюджетами является тот факт, что разработчики носителей COM Express нового поколения находятся в России. Команда «РТСОФТ» ориентирована на всестороннюю поддержку отечественных разработчиков, которые имеют возможность научиться делать собственные носители COM Express, иметь кастомизированные носители от «РТСОФТ» с мировым уровнем программной поддержки в части BSP под любые ведущие операционные системы: Windows, Linux, Android, QNX, VxWorks, LynxOS и др. Стартовые комплекты разработчика на базе собственных носителей COM Express предоставляются партнёрам и ключевым заказчикам «РТСОФТ» на безвозмездной основе.

Опираясь на опыт, накопленный «РТСОФТ» за 20 лет работы в области ВКТ, и пользуясь дополнительными сервисами «РТСОФТ», производитель прикладного оборудования фокусируется на своей ключевой компетенции и целевом приложении, уменьшая тем самым риски, сроки и бюджеты разработки, сокращая время вывода готового высококачественного продукта на рынок.

*pr@rtsoft.ru*



## ДЕНЬ ВСТРАИВАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ MICROSOFT В НОВОСИБИРСКЕ!

27 сентября 2012 г. «Кварта Технологии», дистрибьютор и тренинг-партнёр Microsoft Windows Embedded в России и СНГ, провела семинар «День встраиваемых технологий Microsoft в Новосибирске!».

Семинар в столице Сибири был первым из серии семинаров в рамках осеннего RoadShow'2012, организованного компанией «Кварта Технологии». Открыл семинар коммерческий директор «Кварта Технологии» Валерий Дробышевский с приветственным словом к участникам.

Далее выступил Антон Еронин, директор по развитию бизнеса в департаменте встраиваемых систем. Он рассказал об уникальном семействе платформы Microsoft Windows Embedded, а также сделал акцент на Windows Embedded POSReady 7 – ОС для POS-индустрии и Digital Signage.

На семинаре не только были представлены бизнес-преимущества операционных систем Windows Embedded, но и проведены технические демонстрации особенностей Windows Em-

bedded Standard 7 и Windows Embedded Compact 7.

Не остались без внимания и серверные решения Windows Embedded. Валерий Дробышевский рассказал о преимуществах Embedded-серверов перед классическими. Благодаря более низкой стоимости лицензий, производители могут выводить на рынок готовые устройства в максимально сжатые сроки и предлагать своим клиентам серверные решения по принципу «включить в розетку».

После этих докладов перешли ко второй части нашего семинара, как говорится «от слов к практике». Следующие четыре доклада были представлены нашими партнёрами – компаниями «АТОЛ», «Ниеншанц-Автоматика», «РТСофт» и «Дисмарт».

Они рассказали о своих уже готовых устройствах, которые работают на ОС



Windows Embedded, обо всех преимуществах использования встраиваемых систем Microsoft.

Семинар прошёл в радушной и дружелюбной атмосфере. Во время перерывов участникам были представлены экспозиция устройств, примеры реальных устройств, также была организована информационная зона, в которой участники могли пополнить свою библиотеку книгами и брошюрами о Windows Embedded и специализированными журналами. В конце семинара был проведён розыгрыш брендированных футболок, после которого участники смогли пообщаться в неформальной обстановке во время фуршета.

*Ознакомиться с материалами семинара можно по адресу:*  
<http://quarta.ru/company/press-release/view/50274>.

## ОТКРЫТ «ЗЕЛЁНЫЙ СВЕТ» ПЕРСПЕКТИВНЫМ РАЗРАБОТКАМ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА!



Оргкомитет 3-й Международной выставки «ЭлектроТранс 2013» объявляет о приёме заявок на конкурс перспективных разработок для городского транспорта «Зелёный свет 2013».

Цель конкурса «Зелёный свет» – выявить перспективные разработки промышленных предприятий, дать им объективную оценку со стороны признанных экспертов и максимально способствовать их продвижению в транспортной отрасли. Конкурс проводится ежегодно с 2008 г., в нём принимаются десятки заявок на новые изделия и системные решения, многие из которых нашли широкое применение на предпри-

ятиях городского транспорта и в метрополитенах. В жюри конкурса вошли известные в отрасли руководители и эксперты.

К участию в конкурсе допускаются новые (2011-2013 гг.) технологические решения и разработки в области материалов, компонентов и систем, которые в ближайшем будущем могут оказать существенное влияние на развитие транспорта, повышение его

безопасности, комфорта, эффективное решение различных технических задач.

Конкурс «Зелёный свет» – уникальный для отрасли инструмент. Он проходит задолго до выставки, которая состоится 22–24 мая 2013 г., и даёт возможность участникам ознакомить потенциальных заказчиков с интересными разработками, а в мае продемонстрировать их на стенде.

*Оргкомитет выставки  
«ЭлектроТранс 2013»:  
Тел.: +7(495) 287-4412, 276-2990  
<http://www.electrotrans-expo.ru>*

## Выставка, которую ждут

В этом году выставочная компания «ЧипЭКСПО» отмечает юбилей: «ЧипЭКСПО» – 10 лет. В далёком 2002 г. мы начинали свою, теперь уже десятилетнюю историю. Практически всё приходилось делать впервые, а опыта по многим направлениям организации выставок не было никакого.

Одним из первых выходов в информационное пространство тех лет стала статья под названием «Выставка, которую ждут». Удивительно то, что эти слова оказались впоследствии «визитной карточкой», принципом подготовки и проведения всех выставок, целью в формировании восприятия наших проектов. Сегодня они, по-прежнему, наш лозунг, стиль работы, и именно поэтому мы вынесли их в заголовок.

Каждая из выставок компании «ЧипЭКСПО» была в чём-то уникальной. Первая – «Электроника. Компоненты. Оборудование. Технологии», которая стартовала в 2003 г. в Центральном доме художника, многим запомнилась как камерное и необычное мероприятие, впитавшее в себя дух искусства и утончённого восприятия, витавших в ЦДХ. Не только дух, но и конкретные, новые и актуальные проекты той выставки стали своеобразной основой старта.

На каждой из следующих выставок ChipEXPO было много новых, необычных, а порой и удивительных проектов, которые привлекали внимание, формировали ожидание и выделяли выставку на фоне других.

Так, например, возникла престижная отраслевая премия «Золотой Чип», лауреатами которой к настоящему времени стали более 30 ведущих компаний электроники. Так возник проект «Топ-50» – мини-экспозиция лучших разработок российской электроники и микроэлектроники.

В 2010 г. было принято решение объединить наши небольшие выставочные проекты вокруг главной выставки ChipEXPO, и это новое масштабное мероприятие получило название «Российская неделя электроники». Одной из составных частей «Российской недели электроники» стала экспозиция «Другая электроника», информационным спонсором которой был журнал «Радио». На этой экспозиции нам удалось собрать более 100 образцов удивительных изделий – от роботов до самых миниатюрных в мире диктофонов, занесённых в Книгу рекордов Гиннеса.

Все эти годы мы заботились об имидже российских компаний на зарубежных мероприятиях. Так, начиная с 2006 г., на крупнейшей мировой выставке Electronica в Мюнхене компания «ЧипЭКСПО» организует коллективную экспозицию «Российская электроника». В этом году работа российской делегации будет проходить на стенде площадью 154 кв. м, оформленном в традиционном русском стиле.

В настоящее время мы работаем над организацией подобных экспозиций на ведущих выставках Индии и Тайваня.

Главным событием последних лет стала организация выставки «Новая электроника», которая сразу заявила о себе как главная российская выставка электронных компонентов.

В 2011 г. «Новая электроника» прошла на большом эмоциональном подъёме. «Новая электроника-2012» проходила 17–19 апреля в Экспоцентре в рамках крупномасштабного выставочного проекта «Россия инновационная», объединившего выставки «Новая электроника-2012», «Фотоника. Мир лазеров и оптики-2012», «Высокие технологии XXI века-2012», «Навитех-2012», 6-й Международный форум по спутниковой навигации, «ЭкспоКонтроль-2012», «Персонал Москва-2012». В проекте принимали участие более 1500 компаний. Более 20 000 человек посетили мероприятие.

«Новая электроника» оправдала статус главной выставки электронных компонентов в России. В ней приняли участие 180 крупнейших компаний отрасли из десяти стран мира, ведущие мировые поставщики, дистрибьюторы и производители. Экспозиция была размещена на площади 8000 кв.м. Только по итогам регистрации выставку посетили более 6000 специалистов.

В официальном открытии мероприятия приняли участие представители всех основных направлений промышленности, науки, федеральных и городских структур, директора крупнейших предприятий отрасли.

В 2013 г. выставка «Новая электроника» пройдёт 26–28 марта в павильоне № 7 Экспоцентра. Уже к октябрю 2012 г. было зарезервировано более 80% выставочных площадей. Соответственно, растёт и площадь экспозиции. По сравнению с 2002 г. она увеличилась на 20%. Это, несомненно, говорит о возросшем интересе к выставке.

На выставке «Новая электроника-2013», в первую очередь, будет сделан акцент на продвижении новых продуктов и услуг, снабжении российских разработчиков и производителей электроники современными и качественными электронными компонентами, поиске новых контактов, обсуждении цепочек поставки импортной элементной базы и вариантов сотрудничества с российскими производителями электронных компонентов.

По традиции на выставке «Новая электроника» будут реализованы несколько интересных проектов. В электронном киоске «Загрузи по полной!» посетители могут получить электронные версии любых материалов участников. Для участников выставки будет организован стенд «Ярмарка неликвидов», где они смогут разместить списки складских остатков.

Удобное расположение Павильона № 7 и Конгресс-центра «Экспоцентра» с его помещениями для конференций и семинаров позволит нам минимизировать перемещения посетителей в рамках деловой программы. Кроме того, для удобства участников и посетителей будет построен конференц-зал на территории самой выставки. И, конечно же, по уже заведённой традиции мы предоставляем возможность участникам выставки выступить с короткими презентациями новинок на открытой площадке «Экспо-Форума». Презентации проводятся в режиме «нон-стоп», и любой посетитель, если его заинтересовала тема презентации, может присоединиться в любой момент и включиться в процесс.

Деловая программа выставки «Новая электроника-2013» обещает быть предельно насыщенной техническими семинарами, конференциями и презентациями по различным секторам электроники.

Для привлечения зарубежных участников и посетителей мы планируем провести ряд мероприятий в ноябре на крупнейшей мировой выставке по электронике Electronica-2012 в Мюнхене.

Компания «ЧипЭКСПО» готовится отметить свой десятилетний юбилей и, конечно, порадует участников и посетителей своих мероприятий в следующем десятилетии новыми интересными и креативными проектами.

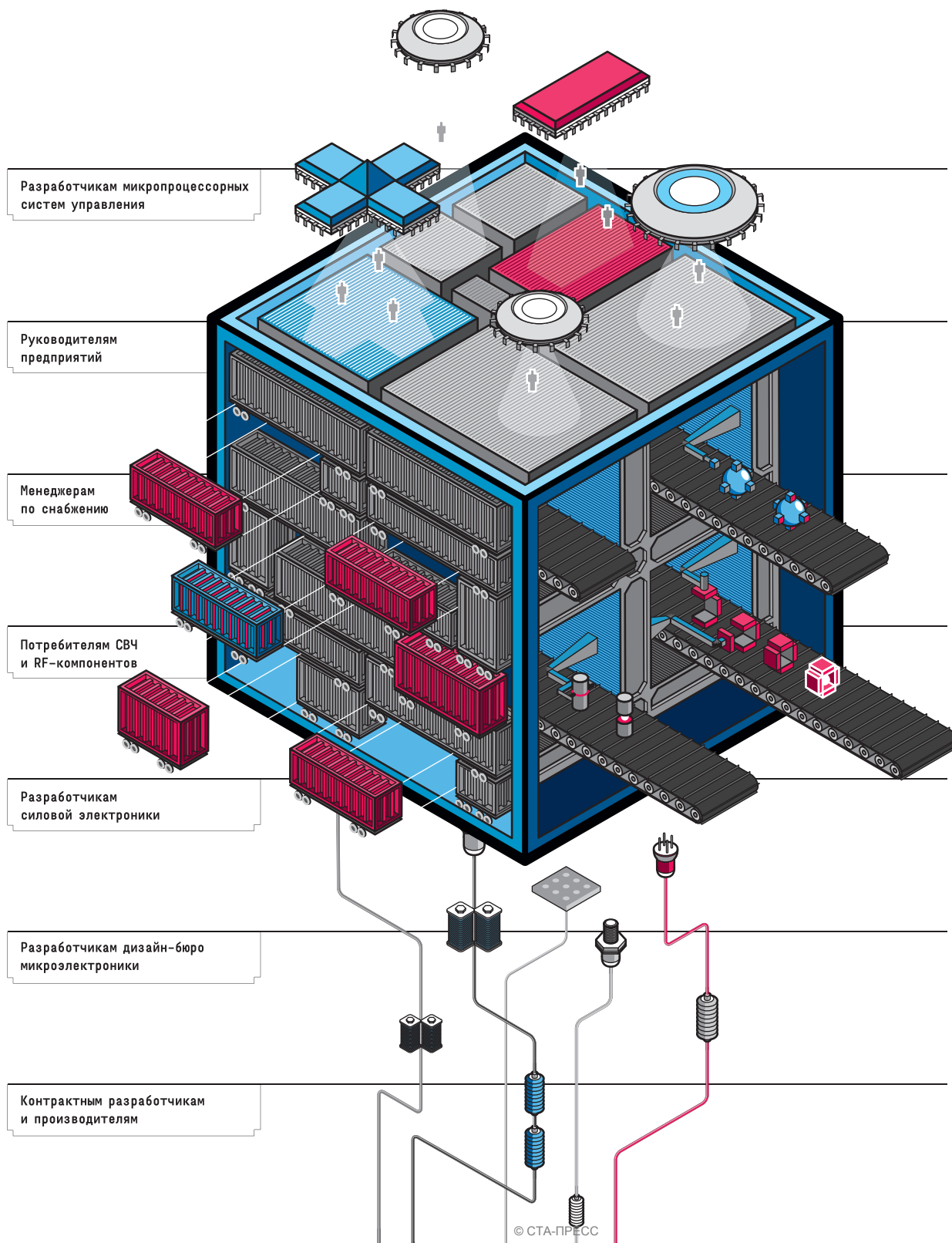
До встречи на «Новой электронике»!

# НОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА / РОССИЯ

## 26-28 МАРТА 2013

МОСКВА  
ЭКСПОЦЕНТР  
НА КРАСНОЙ ПРЕСНЕ

главная российская выставка электронных компонентов и модулей



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

СТАТЬЯ	№ журнала
<b>РЫНОК</b>	
Новости российского рынка	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
«Доломант»: итоги и перспективы	1
Получить больше за меньшую цену? <i>Питер Блис</i>	2
20-летний юбилей инновационной микрозлектронной фирмы «ОНИКС» <i>Ольга Медведь</i>	3
Семь фактов из жизни компании Tesla <i>Наталья Столповская</i>	7
15 лет: этап становления пройден – идём дальше!	8
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>	
Современное состояние и тенденции развития микропливных элементов <i>Виталий Гринберг, Александр Скундин, Евгений Нижниковский</i>	1
Применение вакуумноплазменных технологий в электронике <i>Владимир Белецкий, Валерий Киреев, Сергей Князев, Данил Челапкин</i>	2
Инновационные решения в промышленном энергосберегающем освещении <i>Денис Радьков</i>	4
Экономичная и быстрая в монтаже распределённая кабельная разводка <i>Александр Асон</i>	4
От Open Source к Open Hardware и открытым технологиям разработки электроники <i>Марк Новодачный</i>	6
СБИС с программируемой архитектурой в системах специализированного назначения <i>Александр Бутов</i>	8, 9
Преимущества использования технологии низкотемпературной керамики для реализации радиозлектронных устройств <i>Яков Перцель, Андрей Яковлев</i>	8
<b>ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ</b>	
Особенности и параметры силовых модулей на МОП-транзисторах компании IXYS <i>Юрий Петропавловский</i>	1
Процессоры Intel Sandy Bridge в изделиях фирмы Kontron <i>Леонид Акиншин</i>	1
Динамический датчик кислорода <i>Матвей Зинкевич, Александр Ядевич</i>	1
Соединители нового поколения для промышленных Ethernet-сетей <i>Бернд Хоррмейер</i>	2
Драйверы светодиодов компании Linear Technology <i>Юрий Петропавловский</i>	3
Микроконтроллер MDR32F9Q2I <i>Михаил Голубцов</i>	3, 4, 5
Электрические соединители для встраиваемых систем специального назначения <i>Дмитрий Гаманюк</i>	3
Модулятор ЧМн/ФМн на основе многоканального цифрового синтезатора сигналов с переключением в нуле <i>Дэвид Брэндон, Джефф Кейп</i>	3
Современные звуковые ЦАП компании Texas Instruments <i>Юрий Петропавловский</i>	4
Источники питания Visor в военной и гражданской авиации <i>Руслан Скрышевский</i>	4
Светодиоды высокой яркости компании OSRAM <i>Юрий Петропавловский</i>	5
Маломощные микроконтроллеры C8051F96x для построения эффективных счётчиков газа и воды <i>Руслан Скрышевский</i>	6
Преимущества многофазного понижающего конвертера <i>Дэвид Баба</i>	6
IXYS – силовые полупроводниковые компоненты массового применения <i>Андрей Влащук</i>	6
Радиационно-стойкие микросхемы компании Atmel <i>Юрий Петропавловский</i>	7
Телекоммуникационные реле серий IM и HF от TE Connectivity <i>Марьяна Гетьман</i>	8
ЖК-дисплеи компании Litemax <i>Юрий Петропавловский</i>	9
Поколение процессоров Ivy Bridge: эволюция встраиваемых платформ продолжается <i>Анатолий Сысов</i>	9
Сильноточные проходные разъёмы и клеммы <i>Андрей Икрин</i>	9

СТАТЬЯ	№ журнала
<b>ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ</b>	
<b>Портативные анализаторы спектра Protek 7830</b> <i>Алексей Карепанов</i>	2
<b>Измерение теплового сопротивления СВЧ-транзисторов</b> <i>Владимир Вяжиров, Михаил Духновский, Юрий Фёдоров, Виктор Пчелин, Вячеслав Трегубов</i>	2
<b>Проверка системы управления аккумуляторной батареей мобильного устройства</b> <i>Эдвард Брорейн</i>	2
<b>Отечественные промышленные программируемые счётчики импульсов</b> <i>Сергей Шишкин</i>	3
<b>Сертификационные испытания технических средств на соответствие требованиям электромагнитной совместимости</b> <i>Валерий Герасимов</i>	3
<b>Проект ARMGeoSpyder 3 для современных приложений M2M</b> <i>Александр Елисеев</i>	4
<b>Отладка и тестирование приёмо-передающих устройств с использованием генератора сигналов SG8</b> <i>Андрей Поляков</i>	4
<b>Запуск оборудования средствами отладки Wind River</b> <i>Иоахим Хамп</i>	4
<b>Система управления бесщёточным электродвигателем на основе логики FPGA</b> <i>Владимир Вычужанин</i>	5
<b>Форм-фактор 6U: старые достоинства и новые возможности для встроенных систем</b> <i>Пётр Павлов</i>	5
<b>Масштабирование встроенных систем: крейтовые модульные системы и системные блоки на основе материнских плат</b> <i>Пётр Павлов</i>	5
<b>Силоизмерительные приборы компании IMADA</b> <i>Алексей Карепанов</i>	5
<b>Программаторы для микроконтроллеров Microchip</b> <i>Евгений Рахно</i>	5
<b>Беспроводная IP-видеокамера на базе процессора TI DM3730</b> <i>Павел Фролов</i>	6
<b>Свобода инноваций и интеллект в безграничном мире встраиваемых компьютеров</b> <i>Александр Ковалёв, Сергей Руденко</i>	7
<b>Современные средства регистрации данных в ручных цифровых мультиметрах</b> <i>Си Юнг Чан</i>	7
<b>Особенности стандартизации малых форм-факторов на рынке встроенных систем</b> <i>Пётр Павлов</i>	8
<b>MicroTSA: прогнозы сбываются, развитие продолжается</b> <i>Владимир Бретман</i>	8
<b>Новая многофункциональная система сбора данных Chroma 51101</b> <i>Алексей Карепанов</i>	8
<b>Многофункциональный встраиваемый контроллер (часть 1)</b> <i>Александр Елисеев</i>	9
<b>Контроллер термоэлектрического охладителя компании Chroma ATE</b> <i>Алексей Карепанов</i>	9
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА</b>	
<b>Преобразователь интерфейсов USB-SPI с гальванической развязкой</b> <i>Алексей Кузьминов</i>	1, 2
<b>Быстродействующий датчик действующего значения переменного тока силовых преобразователей</b> <i>Евгений Колесников</i>	1
<b>Широкополосный усилитель на ОУ с фильтром 0...45 МГц для цифрового синтезатора частоты</b> <i>Валентин Сокол</i>	1
<b>Устройства на микроконтроллерах ATiny2313: кодовый замок и таймер</b> <i>Сергей Шишкин</i>	1
<b>Как заставить встроенный в микроконтроллер АЦП поразрядного уравнивания работать с разрешением дельта-сигма-АЦП</b> <i>Алексей Кузьминов</i>	3
<b>USB для начинающих</b> <i>Евгений Рахно</i>	3
<b>Зарядное устройство для суперконденсаторов в системе резервного питания</b> <i>Джордж Барбехенн</i>	3
<b>Кодовый замок и электронный термометр на микроконтроллерах ATMEGA8535</b> <i>Сергей Шишкин</i>	4
<b>Преобразователь сигналов индуктивного датчика положения ротора</b> <i>Михаил Сизов</i>	5
<b>Устройство для создания звуковых эффектов на базе 32-разрядного микроконтроллера</b> <i>Павел Редькин</i>	5
<b>Измеритель диаграммы направленности антенны</b> <i>Андрей Иванов</i>	5
<b>Преобразователь напряжения в длительность импульса, стабилизированный ФАПЧ</b> <i>Михаил Сизов</i>	6
<b>Модуль приёмника спутниковых систем навигации</b> <i>Олег Вальпа</i>	6

СТАТЬЯ	№ журнала
<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА</b>	
<b>Масштабируемый преобразователь двоичного кода в двоичнодесятичный, реализуемый в ПЛИС</b> <i>Валентин Сокол</i>	6
<b>Использование мощных полевых транзисторов и операционных усилителей в прецизионных регуляторах и стабилизаторах напряжения</b> <i>Алексей Кузьминов</i>	7
<b>Управляемый двухканальный стабилизатор тока</b> <i>Сергей Шишкин</i>	7
<b>Стабилизация выходного напряжения обратноходового преобразователя путём возврата энергии в первичную цепь</b> <i>Михаил Сизов</i>	7
<b>Оптимизация КПД при проектировании векторного управления асинхронными двигателями на транзисторных инверторах</b> <i>Виктор Зайцев, Игорь Никифоров, Александр Жилин</i>	8
<b>Сверхминиатюрные изолированные DC/DC-преобразователи со стабилизированным выходом и ультранизким уровнем пульсаций</b> <i>Алексей Кузьминов</i>	9
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ</b>	
<b>Проектирование активной антенны для системы ГЛОНАСС</b> <i>Александр Курушин, Сергей Матвеев</i>	1
<b>Конструирование блоков обработки сигналов и информации</b> <i>Алексей Карих</i>	1
<b>Функциональные модели триггеров и их реализация в FPGA</b> <i>Пётр Бибило, Артём Соловьёв</i>	1
<b>Программа SEMISEL – тепловые расчёты силовых схем</b> <i>Андрей Колпаков, Андрей Гладских</i>	1
<b>Охлаждение блоков обработки сигналов и информации</b> <i>Алексей Карих</i>	2
<b>Согласование логопериодической антенны в широком диапазоне частот</b> <i>Владислав Бондарев, Роман Каленов</i>	2
<b>Конвертация проектов FPGA семейства Spartan 3 в заказные СБИС</b> <i>Пётр Бибило, Данила Городецкий, Дмитрий Новиков, Артём Соловьёв, Дмитрий Черемисинов</i>	2
<b>Инструкции по разводке печатной платы для понижающих импульсных стабилизаторов, оптимизированных по уровню помех</b> <i>Скотт Женг</i>	2
<b>Применение ПЛИС для увеличения пропускной способности устройств</b> <i>Владимир Вычужанин</i>	3
<b>Автоматизация процесса проектирования антенн и устройств СВЧ в современных программных комплексах электродинамического моделирования</b> <i>Андрей Пластиков</i>	3, 4, 6, 7, 8
<b>Транзисторный смеситель СВЧ с повышенным коэффициентом передачи мощности</b> <i>Виталий Романюк</i>	3
<b>Интеграция программных платформ Cadence и Ansys для полного электромагнитного анализа печатных плат</b> <i>Анатолий Сергеев</i>	3
<b>Разработка топологии печатных плат с помощью Allegro/OrCAD PCB Editor</b> <i>Анатолий Сергеев</i>	4, 6
<b>Проектирование целевых систем на базе модулей Cinterion BGS2 и HABIA GL8088s</b> <i>Борис Нестеров</i>	5
<b>Усилитель Доэрти и его реализации на компонентах компании Cree</b> <i>Левон Аветисян</i>	5
<b>САПР ADS 2011.10: новая эпоха проектирования ВЧ- и СВЧ-устройств</b> <i>Джек Сифри</i>	5
<b>Диоды Шоттки для управления питанием</b> <i>Эрнст Брон</i>	5
<b>Защита систем PoE от грозовых перенапряжений и других опасных электрических разрядов</b> <i>Филлип Хэйвенс, Чэд Марак</i>	5
<b>Моделирование температурных полей электронных модулей в программном комплексе STF-ElectronMod</b> <i>Александр Мадера, Пётр Кандалов</i>	6
<b>Моделирование планарной антенны GPS с помощью современных программных комплексов</b> <i>Александр Курушин</i>	6
<b>Программные средства разработки систем ЦОС на основе ПЛИС Xilinx</b> <i>Павел Львов, Александр Тумачек</i>	7
<b>«Конвергенция кремния» и будущее системного проектирования</b> <i>Денни Биран</i>	7
<b>OrCAD Capture. Методы создания библиотек и символов электронных компонентов</b> <i>Анатолий Сергеев</i>	7
<b>Altium Designer: преимущества и недостатки организации библиотеки в виде базы данных</b> <i>Алексей Сабунин</i>	8
<b>Расчёт параметров чувствительного элемента волоконно-оптического сигнализатора уровня жидкости</b> <i>Инна Назарова, Дмитрий Серебряков, Кирилл Серебряков, Елена Бадеева, Татьяна Мурашкина</i>	8
<b>Agilent Genesys – недорогое и высокопроизводительное решение для моделирования ВЧ- и СВЧ-схем</b> <i>Хау-Сянг Яп</i>	8
<b>Предтопологический анализ целостности сигналов в среде Cadence Allegro PCB SI</b> <i>Анатолий Сергеев</i>	9
<b>Учёт динамического поведения моделей полевых транзисторов</b> <i>Грэм Райли</i>	9

СТАТЬЯ	№ журнала
<b>ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ</b>	
Чистые зоны: индивидуальное проектирование <i>Павел Колин</i>	8
<b>ПРОГРАММИРОВАНИЕ</b>	
Использование стандарта программирования OpenCL для организации вычислений на ПЛИС <i>Владимир Вычужанин</i>	1
HDL-реализация контроллера флэш-памяти <i>Алексей Гребенников</i>	1
Контроллер памяти DDR3 SDRAM <i>Алексей Гребенников</i>	2
Реализация многозадачного проекта на микроконтроллере ARM7 без использования операционных систем <i>Константин Оськин</i>	3
Усовершенствованный протокол обмена по интерфейсу RS-232 <i>Алексей Кузьминов</i>	4
Способ защиты программ в микроконтроллерах C8051FXXX фирмы Silicon Labs <i>Алексей Кузьминов</i>	6
Модуль быстрого преобразования Фурье <i>Алексей Гребенников</i>	7
Ускорение отладки устройств на базе Linux при помощи внутрисхемной отладки JTAG <i>Иоахим Хамп</i>	7
<b>ВОПРОСЫ ТЕОРИИ</b>	
Алгоритмы адаптивной линеаризации характеристик датчиков в АСУ ТП <i>Наталья Гудкова</i>	7
Приложение принципов адаптивного моделирования к задачам управления динамическими объектами типа «чёрный ящик» <i>Наталья Гудкова</i>	8
Резервы классических аппроксимаций цифровых БИХ-фильтров <i>Александр Мингазин</i>	9
<b>СОБЫТИЯ</b>	
Итоги VI Международного выставочного форума «Радиоэлектроника. Приборостроение. Автоматизация 2011»	1
Рабочее совещание международной экспертной комиссии по разработке стандартов	1
«Силовая электроника и энергетика 2011»: Сила развития отрасли	1
Первая отечественная РЛС дальнего обнаружения в битве под Москвой <i>Владимир Бартенев</i>	2
Создавая возможности <i>Александр Биленко</i>	2
Конференция «Встраиваемые технологии 2012»	2
Семинар по светотехнической продукции для транспорта включен в программу выставки «ЭлектроТранс 2012»	2
О радиозаводах, созданных в начале Великой Отечественной войны на востоке нашей страны <i>Владимир Бартенев</i>	4
SEMICON/SOLARCON Russia 2012!	4
ЭкспоЭлектроника 2012	5
Новая электроника 2012	5
В Москве прошли выставки по городскому общественному транспорту	6
По спортивным правилам	7
Пресс-конференция Agilent Technologies	8
Международные выставки «SensorExpo: Датчики и измерения» и «KIPIExpo – Контрольно-измерительное оборудование»	8
Выставка «Новая электроника 2013»	8
Силовая электроника 2012: сила интеллекта и технологий	8
«РТСофт» верифицирует современное поколение плат-носителей COM Express собственной разработки для новейших встраиваемых процессоров Intel Core 3-го поколения и Intel Atom D/N2xxx	9
День встраиваемых технологий Microsoft в Новосибирске!	9
Открыт «Зелёный свет» перспективным разработкам для городского транспорта!	9
Выставка, которую ждут	9

# Электроника

# Транспорт



22-24 мая 2013 г.  
Москва, ВВЦ

## VII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

### Информационные технологии для транспорта и транспортной инфраструктуры

#### Тематика:

- Системы диспетчеризации и управления транспортным парком (грузовые автоперевозки, пассажирский транспорт, такси, спецтранспорт)
- Комплексы навигации и связи
- Системы безопасности и видеонаблюдения
- Системы контроля пассажиропотока
- Системы оплаты проезда
- Технологии снижения расхода топлива
- Информационные системы для пассажиров
- Автоматика, телемеханика
- Измерительные и диагностические приборы
- Силовая электроника для транспорта
- Электронные, электротехнические компоненты

#### Конференция:

“Практические особенности внедрения навигационно-информационных технологий на современном транспортном предприятии”

Организатор: “Профессиональные Конференции”, тел. +7(495) 66-324-66

Одновременно с выставками:



**ЭлектроТранс 2013**

[Http://www.electrotrans-expo.ru](http://www.electrotrans-expo.ru)



**CityBus 2013**

[Http://www.citybus-expo.ru](http://www.citybus-expo.ru)



Оргкомитет:  
+7(495) 287-4412  
[Http://www.e-transport.ru](http://www.e-transport.ru)

Поддержка:



Реклама

# ЭНЕРГИЯ ВАШЕГО РАЗВИТИЯ

9-я Международная выставка и конференция

## СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**POWER  
ELECTRONICS**



Датчики и сенсоры • Интеллектуальный контроль двигателей • Источники питания • Магниты и материалы сердечников • Пассивные компоненты • Полупроводниковые компоненты • Преобразователи напряжения • Распределительные устройства • Сервомоторы и актуаторы • Тестирование и измерение • Технологии энергоэффективности и энергосбережения • Узлы и сборки • Управление тепловыделением • Электроэнергетика • Гибридные технологии

**27 - 29 ноября 2012**  
**Москва, Крокус-Экспо**

Организаторы:



Тел.: +7 (812) 380 6003 / 07  
Факс: +7 (812) 380 6001 / 00  
E-mail: [power@primexpro.ru](mailto:power@primexpro.ru)

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

# ВСЕ АССОРТИМЕНТ ИНДУКТИВНОСТЕЙ:

МОТАНЫЕ, МНОГОСЛОЙНЫЕ, ПЛЕНОЧНЫЕ

**muRata**  
*Innovator in Electronics*



**-Силовые индуктивности:**  
для SMD монтажа и ЧИП,  
ток 7 мА – 8 А

**-Общего применения:**  
до 100 МГц, многослойные  
и мотанные

**-ВЧ индуктивности:**  
от 100 МГц, от 01005 до 1206,  
с малой погрешностью

Высота корпуса от 0,2 до 4,7 мм

Реклама

 [www.platan.ru](http://www.platan.ru)  
**ПЛАТАН**

**Офисы в Москве:** м. Молодежная; ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97 000 99, platan@aha.ru; м. Новослободская: 1-й Щемиловский пер., 16, стр.2 (495) 744 70 70, platan@platan.ru

**Офис в Санкт-Петербурге:** ул. Зверинская, 44 (812) 232 88 36, baltika@platan.spb.ru

**Представительства:** Воронеж (4732) 59-76-92; Казань (8432) 92-18-06; Киев +38 (044) 400-20-88, +38 (044) 537-36-71; Новосибирск (383) 216-33-66, 216-57-73; Омск (3822) 55-65-30, 55-95-73; Ульяновск (8422) 300-150; Уфа (347) 235-63-73, 233-11-37