

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 7 2009

www.soel.ru

- Светодиодная подсветка в ЖК-дисплеях
- Отечественный карбид кремния
- Импульсные УМЗЧ в современной аппаратуре
- Тестер DISEqC-устройств
- Анализ инверторов напряжения

**ВНИМАНИЕ!**

открыта подписка на 2010 г.  
м. стр. 79



# Новый продукт компании SHARP



## SHARP

### УНИКАЛЬНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ *НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ*

[Серия Zenigata]

- Эффективность энергопотребления до 80 лм/Вт;
- Индекс цветопередачи CRI до 90;
- Тонкий/легкий/компактный;
- Модульная сборка со множеством светодиодов всего лишь с двумя контактами для облегчения монтажа;
- Рабочий диапазон температур:  $-30...+90^{\circ}\text{C}$ ;
- Доступность выбора из четырех различных цветов в нескольких группах (бинах);
- Возможность применения без дополнительных линз



*Линейка 280 лм*  
(3.6 Вт; 10.2 В, 360 мА)

*Линейка 540 лм*  
(6.7 Вт; 10.5 В, 640 мА)

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

## PROSOFT®

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

## Главный редактор

Александр Майстренко

## Зам. главного редактора

Татьяна Крюк

## Редакционная коллегия

Андрей Данилов, Олег Фёдоров

## Вёрстка

Александр Либков

## Обложка

Дмитрий Юсим

## Служба распространения

(info@soel.ru)

Мария Кашайкина

## Служба рекламы

(advert@soel.ru)

Ирина Савина, Александр Максимов

Издательство «СТА-ПРЕСС»

Директор Константин Седов

Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26

Телефон: (495) 232-0087

Факс: (495) 232-1653

Сайт: www.soel.ru

E-mail: info@soel.ru

Журнал выходит 9 раз в год

Тираж 10 000 экземпляров

Журнал зарегистрирован в Федеральной

службе по надзору за соблюдением

законодательства в сфере массовых

коммуникаций и охране культурного наследия

(свидетельство ПИ № ФС77-18792

от 28 октября 2004 года)

Свидетельство № 00271-000 о внесении

в Реестр надёжных партнеров Торгово-

промышленной палаты Российской Федерации

Цена договорная

Отпечатано:

ОАО «Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

Адрес:

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

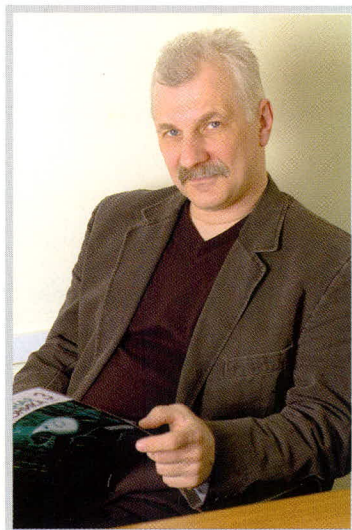
Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

© СТА-ПРЕСС, 2009



## Уважаемые читатели!

Вот и ещё одно лето пролетело (я раньше почему-то не замечал сходства корней этих слов), наступает новый деловой сезон. Надеюсь, вы отдохнули, набрались сил, здоровья и впечатлений на весь предстоящий нелёгкий год. Ну что же, приступаем к делам...

Летние месяцы, обычно скудные на деловые новости, в этот раз преподнесли сюрприз. В июле замглавы Минпромторга Юрий Борисов выступил с заявлением о возможном предстоящем объединении «Микрона» и «Ангстрема» для производства микросхем с нормами 90 нм. По словам Борисова, на данном этапе проект «Микрона» по производству чипов 90 нм фактически запущен, а реализация фабрики «Ангстрема» затянулась. В 2011 г. Россия может получить две фабрики с одинаковыми технологическими параметрами, которые будут конкурировать в одних и тех же продуктовых нишах, – считает Борисов.

Интересно проследить, как изменилась за короткое время позиция этого высокопоставленного чиновника. Так, в 2008 г. он заявлял: «И для «Ангстрема», и для «Микрона» поля деятельности хватит. Наличие двух, а не одной фабрик, – всегда лучше по многим соображениям. С точки зрения государства – это технологическая и информационная безопасность. С точки зрения конкуренции – это стимул к развитию». Золотые слова, не поспоришь.

Можно только догадываться о причине столь радикального изменения позиции. Неужели кризис? Но эти предприятия в основном обслуживают госзаказ и от рынка практически не зависят. Может, государство решило не платить дважды за одно и то же? Ничуть не бывало. Госкорпорация «Роснано» согласилась вложить в 90-нм проект «Микрона» около \$210 млн. Аналогичный проект «Ангстрема» стоимостью \$270 млн. сейчас также рассматривается этой корпорацией. И это в дополнение к тем огромным средствам, которые уже были этим фирмам выделены и потрачены. А результат? Гора родила мышь в виде билетов на метро. Тут уместно вспомнить и некрасивую историю с инсценировкой пуска технологической линии по производству чипов для этих самых билетов, направленную на обман СМИ и первых лиц государства.

Судя по всему, объединение «Микрона» и «Ангстрема» означает новую чиновничью игру, направленную на «освоение» средств. Разумеется, высокие технологии развивать необходимо, и государство должно поддерживать работающие на этом рынке фирмы. Но если давать деньги тем, кто не научился работать открыто и эффективно, а привык действовать обманом, то средства уйдут как вода в песок, что мы пока и наблюдаем.

*С уважением,  
Александр Майстренко*

## Market

News from the Russian Market .....	4
Market of Sharp's LED Backlight and New Displays: A Review .....	8
<i>Vadim Smirnov</i>	

## Modern Technologies

Semiconducting Silicon Carbide from Russian Companies: A Step toward Parity .....	12
<i>Viktor Luchinin, Yurii Tairov</i>	

## Elements and Components

ICs for Pulse Audio-Frequency Amplifiers Used in Advanced Audio and Video .....	16
<i>Yurii Pertropavlovskii</i>	
Kontron Boards and Modules with Intel Atom Processors .....	26
<i>Dmitrii Afonin, Leonid Akinshin</i>	
REFOND SMD LEDs .....	32
<i>Ivan Syrovatkin</i>	

## Practical Electronics

PWM Cascade Built on a Monostable Multivibrator or One More Circuitry of NE555 Timer .....	34
<i>Igor Bezverkhni</i>	
Tester of DISEqC Devices Supporting 1.0, 1.1, and 1.2 Network Control Protocols .....	36
<i>Aleksandr Danilin</i>	

## Design and Simulation

Altium Designer: Circuit Simulation and Types of Models (continuation) .....	40
<i>Aleksey Sabunin</i>	
Identification of Integrated Transistor Model Parameters Part 3: Alternative Methods of Identification of Bipolar Transistor Model Parameters .....	48
<i>Oleg Dvornikov, Yurii Shul'gevich</i>	
MathSpice: An Analytical PSpice Engine for OrCAD and MicroCAP Part 3: Components Models for Analytical Calculations .....	52
<i>Oleg Petrakov</i>	
Practical Course of End-to-End Design of Digital Devices Based on Xilinx FPLD (Part 25) .....	60
<i>Valerii Zotov</i>	

## Theory

Electromagnetic Processes and Comparative Analysis of Autonomous Parallel Single-Switch Closed-Input Voltage Inverters .....	70
<i>Evgenii Silkin</i>	

## Рынок

- 4 Новости российского рынка  
8 Обзор рынка светодиодной подсветки и новых дисплеев фирмы Sharp  
*Вадим Смирнов*

## Современные технологии

- 12 Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету  
*Виктор Лучинин, Юрий Таиров*

## Элементы и компоненты

- 16 Микросхемы для построения импульсных усилителей звуковых частот в современной звуковой и видеоаппаратуре  
*Юрий Петропавловский*  
26 Платы и модули Kontron с процессорами Intel Atom  
*Дмитрий Афонин, Леонид Акиншин*  
32 SMD-светодиоды REFOND  
*Иван Сыроваткин*

## Практическая электроника

- 34 Каскад ШИМ на ждущем мультивибраторе, или ещё одно включение таймера NE555  
*Игорь Безверхний*  
36 Тестер DISEqC-устройств с поддержкой протоколов управления: 1.0, 1.1 и 1.2  
*Александр Данилин*

## Проектирование и моделирование

- 40 Altium Designer – схемотехническое моделирование и типы моделей (продолжение)  
*Алексей Сабунин*  
48 Методы идентификации параметров моделей интегральных транзисторов.  
Часть 3. Альтернативные методы идентификации параметров модели биполярных транзисторов  
*Олег Дворников, Юрий Шульгевич*  
52 MathSpice – аналитический PSpice-движок для OrCAD и MicroCAP. Часть 2. Директивы MSpice  
*Олег Петраков*  
60 Практический курс сквозного проектирования цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx (часть 25)  
*Валерий Зотов*

## Вопросы теории

- 70 Электромагнитные процессы и сравнительный анализ автономных одноключевых параллельных инверторов напряжения с закрытым входом  
*Евгений Силкин*

## Новости российского рынка

### Элементы и компоненты

#### Тепловизионная камера S51R

Тепловизионная камера S51R предназначена для использования в системах регистрации изображений в инфракрасном спектральном диапазоне (8...14 мкм).

В камере могут использоваться микроболометрические датчики (фирма ULIS, Франция) формата 384 × 288 пикселей (с размерами пикселя 35 × 35 и 25 × 25 мкм) и формата 640 × 480 пикселей с размерами пикселя 25 × 25 мкм.

В камере реализованы алгоритмы работы датчика без термостабилизации температуры и без оптического затвора, что обуславливает высокую надёжность, низкое энергопотребление (1,2 Вт) и малые габариты изделия (Ø50 × 56 мм). Камера имеет телевизионный CCIR-выход и может подключаться к компьютеру по специализированному последовательному LVDS-интерфейсу. Подключение производится с помощью PCI-адаптера либо компактного преобразователя к USB2.0. Управление камерой может производиться от компьютера или с помощью трёхкнопочной выносной консоли. Опционально к камере может подключаться выносной OLED-дисплей.



В камере поддерживаются функции улучшения качества изображений (пространственная и временная фильтрация, коррекция дефектов и др.); различные режимы отображения на телевизионном мониторе и OLED-дисплее (изменение яркости и контраста, инверсия изображения, двукратное изменение масштаба, АРУ), несколько режимов опроса датчиков, отличающихся кадровой частотой. Камера позволяет вводить изображения в компьютер как в исходном виде, так и после выполнения функций обработки изображений.

Камера может поставляться в комплекте с объективами различных производителей.

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

Тел.: (812) 552-2069

#### Curtiss-Wright VPX6-187: одноплатный компьютер формата 6U VPX на базе восьмиядерного процессора Freescale QorIQ P4080

Компания Curtiss-Wright Controls Embedded Computing – производитель встраиваемых компьютерных плат и систем для военных применений – выпустила одноплатный компьютер на базе микропроцессора Freescale QorIQ P4080.



Новый коммуникационный процессор P4080 содержит восемь ядер E500MC с тактовой частотой 1,5 ГГц. Одноплатный компьютер VPX6-187 выполнен в формате 6U VPX и содержит P4080, до 4 Гб DDR3 SDRAM, до 8 Гб NAND Flash, до шести четырёхполосных (x4) порта коммутируемой структуры Serial RapidIO и PCI Express Gen2 на VPX-разъемах P1 и P2, два слота для мезонинов XMC/PMC, интерфейсы GbE, USB, RS-232/422/485, MIL-STD-1553, Serial ATA и дискретный в/в.

Модуль выпускается в расширенном диапазоне температур –40...+85°C в исполнениях для воздушного и кондуктивного охлаждения, а также в варианте исполнения VPX-REDI (VITA 48) с защитным кожухом для обслуживания в полевых условиях. Программное обеспечение: BSP и драйверы для операционных систем VxWorks 6.x и Wind River Linux.

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

Тел.: (499) 148-9677

#### Качественно новые прецизионные термокомпенсированные кварцевые генераторы со стабильностью частоты на уровне термостатированных

ОАО «МОРИОН» (Санкт-Петербург) – ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства пьезоэлектронных приборов стабилизации и селекции частоты – представляет качественно новые прецизионные термокомпенсированные кварцевые генераторы.

Ключевой особенностью приборов данной группы является сочетание следующих характеристик:

- стабильность частоты на уровне термостатированного генератора ( $\sim 10^{-7}$ );
- малое значение потребляемой мощности – как после включения генератора, так и в установившемся режиме (около 100 мВт);
- малое время стабилизации частоты после включения (около 2...3 с);
- низкий уровень фазовых шумов.

В настоящее время планируется серийный выпуск двух базовых моделей указанных прецизионных термокомпенсированных генераторов: ГК202-ТК и ГК203-ТК:

А. ГК202-ТК имеет номинальную частоту 12,8 МГц, выходной сигнал SIN и напряжение питания 5 В. Прибор обеспечивает температурную стабильность частоты до  $1,5 \times 10^{-7}$  в широком интервале рабочих температур и долговременную стабильность частоты до  $1,5 \times 10^{-7}$  за год. Генератор выполнен в стандартном корпусе с размерами 36 × 27 × 12,7 мм.

Б. В свою очередь ГК203-ТК имеет номинальную частоту 10 МГц и напряжение питания 12 В. Выходной сигнал также имеет синусоидальную форму. Прибор характеризуется ещё более высокой стабильностью частоты: до  $5 \times 10^{-8}$  при изменении рабочей температуры в широком диапазоне и до  $1,5 \times 10^{-7}$  долговременной за год.



ГК203-ТК имеет аналогичные ГК202-ТК габаритно-присоединительные размеры, однако при этом очень перспективное исполнение с высотой 10 мм (ГК203М-ТК).

Сочетание высокого уровня температурной и долговременной стабильности частоты с низким уровнем потребления и почти мгновенной готовностью к работе делают генераторы ГК202-ТК и ГК203-ТК очень эффективными для многих применений, в частности, в различных системах мобильной радиосвязи.

Дополнительная информация об этих и других новых приборах доступна на обновленном сайте ОАО «МОРИОН» [www.morion.com.ru](http://www.morion.com.ru).

[www.morion.com.ru](http://www.morion.com.ru)

Тел. (812) 350-7572, (812) 350-9243

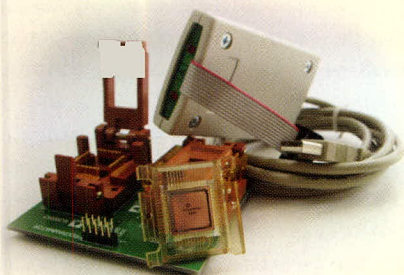
## Новости российского рынка

### Микросхемы ЭСППЗУ Flash-типа

Компания «Миландр» представляет серию 1636 ЭСППЗУ Flash-типа ёмкостью 4 и 16 Мбит.

Микросхема 1636PP1У имеет организацию 512K × 8 и реализована в 42-выводном металлокерамическом корпусе. Время выборки по адресу и сигналу CE не более 60 нс, по сигналу OE – не более 50 нс.

Микросхема 1636PP2У при организации 2M × 8 реализована в 48-выводном металлокерамическом корпусе. Время выборки по адресу и сигналу CE не более 65нс, по сигналу OE – не более 55 нс.



Общие характеристики микросхем:

- наличие последовательного и параллельного интерфейсов;
- напряжение питания микросхем 3,0...3,6 В;
- совместимость по входам 5 В;
- совместимость с микросхемами LVTTTL- и LVC MOS-типа;
- потребление в режиме хранения не более 1 мА;
- потребление в режиме чтения не более 25 мА;
- возможность стирания любой комбинации секторов и всей памяти;
- поддержка чтения и записи данных при незавершённом стирании сектора;
- гарантированное количество циклов стирания 100 000;
- время сохранения данных 13 лет при температуре 125°C.

Область применения микросхем – высокоскоростные системы хранения и обработки информации, например, в качестве ЭСППЗУ высокопроизводительных микропроцессоров и управляющих систем.

Для разработчиков, использующих серию 1636, предусмотрено наличие USB-программатора и адаптера для программирования.

Заказы на поставку данных ИМС принимаются уже сейчас.

[www.milandr.ru](http://www.milandr.ru)  
Тел.: (495) 601-9545

### 15-'' ЖК-дисплеи со светодиодной подсветкой и встроенной платой управления для применений в наружных установках

Компания Litemax Electronics – лидер в области производства ЖК-дисплеев с повышенной яркостью свечения экрана – представила 15-'' ЖК-панель SLO1568, оснащенную системой задней подсветки на массивах светодиодов и платой управления, характеризующуюся широким диапазоном рабочих температур от –20 до +75°C. Диапазон температур хранения от –30 до +80°C. ЖК-дисплей в открытом исполнении создан на основе технологии a-Si TFT LCD, включает модуль управления системой задней подсветки на светодиодах LI1215A, плату управления AD5621GA (обеспечивают работу через видеоинтерфейс VGA). Предлагаются две модели:

- SLO1568-ENB-A01 – исполнение типа открытая рама, включающая ЖК-панель, плату управления системой задней подсветки LI1215A, плату управления AD5621GA;



- SLO1568-ETB-A01 – модель SLO1568-ENB-A01 с установленным сенсорным экраном.

Общие технические характеристики дисплея SLO1568:

Модель ..... SLO1568  
ЖК-панель .со светодиодной подсветкой,  
размер диагонали ..... 15''  
Рабочая площадь экрана, мм .....  
..... 304,128 × 228,096 мм  
Яркость, кд/м<sup>2</sup> ..... 1600  
Разрешение 1024 × 768 пикселей (формат изображения XGA)  
Контрастность ..... 600 : 1  
Угол обзора .160° (в горизонтальной плоскости), 160° (в вертикальной плоскости)  
Число воспроизводимых цветов 16 777 216  
Время оптического отклика . . . 8 мс (тип.)  
Потребляемая мощность 34 Вт (с платой управления и системой подсветки)

Благодаря своим потребительским качествам, ЖК-панели серии SLO1568 могут

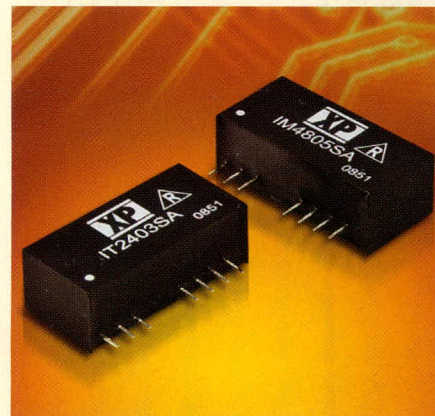
применяться в приложениях с жёсткими условиями эксплуатации – на транспорте, в наружных установках Digital Signage (локальные цифровые видеосети, используемые для демонстрации мультимедийной рекламы и информационных сообщений), в качестве внешних информационных дисплеев на автозаправочных станциях и др.

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

### Компактные 2- и 3-Вт DC/DC-преобразователи в корпусах SIP с широким диапазоном входных напряжений для портативного оборудования

Компания XP Power объявила о начале выпуска 2- и 3-ваттных DC/DC-преобразователей серий IM и IT со стабилизированным выходным напряжением. Устройства выпускаются в герметичных пластиковых корпусах с габаритами 26 × 12,5 × 9,3 мм и способны работать в широком диапазоне входных напряжений (4 : 1), гальваническая развязка между выходом и выходом выдерживает напряжение 1,5 кВ в течение 1 мин. Модули преобразователей являются идеальными для применения в переносном, портативном оборудовании, где площадь печатной платы является дефицитной и разработчики стремятся сократить размеры конечного изделия.

Совместно модули серии IM с выходной мощностью 2 Вт и модули серии IT с выходной мощностью 3 Вт предлагают всего 28 модификаций. Предназначенные для работы от промежуточных сетей постоянного тока с номинальными напряжениями 12, 24 и 48 В, модули каждой серии способны работать в диапазонах входных напряжений 9...36 или 18...75 В. Доступны одноканальные и двухканальные модели. Одноканальные модели обеспечивают на выходе номинальные напряжения +3,3; 5; 12 или 15 В, тогда как двухканальные модели обеспечи-



## Новости российского рынка

вают  $\pm 5$ ,  $\pm 12$  или  $\pm 15$  В. Выходное напряжение стабилизировано: коэффициент нестабильности по напряжению в пределах  $\pm 0,5\%$ , коэффициент нестабильности по току при изменении нагрузки от 10 до 100% составляет менее чем  $\pm 0,5\%$ . Функция дистанционного включения/выключения делает возможным управление преобразователем внешним сигналом. Модули способны работать в диапазоне температур от  $-40$  до  $+100^\circ\text{C}$  без применения каких-либо дополнительных радиаторов и принудительного охлаждения воздушным потоком. Полная выходная мощность обеспечивается до температуры  $+75^\circ\text{C}$ , а с понижением выходной мощности максимальная температура корпуса может достигать  $+100^\circ\text{C}$ . Эти весьма надёжные DC/DC-преобразователи характеризуются значением MTBF (вычисленное по MIL-HDBK-217F) свыше 1,2 млн. ч.

Модули DC/DC-преобразователей серий IM и IT обеспечиваются 3-летней гарантией.

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

Тел.: (495) 234-0636

### Компактные герметизированные источники питания AC/DC с винтовыми зажимами для подключения внешних цепей

Компания XP Power объявила о расширении семейства ECL компактных маломощных источников питания AC/DC. Новая серия ECL-S 15- и 25-ваттных источников питания включает модели с винтовыми зажимами для монтажа на шасси дополнительно к моделям для монтажа на шасси с соединителем JST; модели для монтажа на печатную плату и герметизированные модели уже доступны в семействе ECL. Доступные в настоящее время на рынке 15-ваттные модели серии ECL-S, являющиеся

компактными модулями, имеют габариты  $84 \times 34,5 \times 26,4$  мм. Новые модели являются идеальными для маломощных приложений, в которых не требуются применение источников питания для монтажа на шасси с винтовыми зажимами или где компоненты должны быть защищены от воздействующих факторов внешней среды.

Одноканальные модели серий ECL15-S и ECL25-S обеспечивают номинальные выходные напряжения  $+3,3$ ;  $+5$ ;  $+9$ ;  $+12$ ;  $+15$ ;  $+24$  или  $+48$  В. Теперь с новыми моделями семейство источников питания ECL обеспечивает полный ряд выходных напряжений, выходных мощностей и сочетаний конструктивных исполнений. Отсутствие необходимости применения дополнительных теплоотводов или принудительного воздушного охлаждения делает источники питания идеальными во многих внешних условиях. Они способны обеспечивать полную мощность в диапазоне температур от  $-20$  до  $+50^\circ\text{C}$ , выходная мощность уменьшается линейно до 50% номинальной при  $+70^\circ\text{C}$ . Все модели способны обеспечить на выходе пиковую мощность 130% номинальной мощности в течение 30 с. Разработчики не должны закладывать в оборудование более дорогие и мощные источники питания только для обеспечения нагрузки пиковой мощностью в течение короткого времени.

По защите от поражения электрическим током модули серии ECL являются оборудованием класса II, т.е. не требуется применение защитного заземления. Это отвечает требованиям портативного оборудования, когда не всегда доступны надёжные цепи заземления. Гальваническая изоляция вход-выход 3000 В (действующее значение). Не требуется применение внешних фильтрующих компонентов, так как источники питания уже соответствуют стандарту EN55022 уровень В к кондуктивным и излучаемым помехам.

Источники питания семейства ECL поддерживаются трёхлетней гарантией.

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

Тел.: (495) 234-0636

### Надёжные и крепкие 5000-Вт преобразователи напряжения для ответственных применений

Компания Schaefer представила серию C5100, включающую 5000-ваттные DC/DC-преобразователи, источники питания AC/DC, выполненные в виде сменных модулей высотой 3U и 5U. Модули DC/DC-преобразователей серии C5100 предназначены для работы от сетей постоянного тока с диапа-

зоном изменения напряжения 320...800 В, а также для работы от трёхфазных сетей переменного тока  $3 \times 400$  В (320...460 В) и  $3 \times 480$  В (400...530 В). Одноканальные модели обеспечивают на выходе шесть стандартных диапазонов напряжений (от 23 до 200 В). Все выходные напряжения регулируются и характеризуются коэффициентом нестабильности по току 0,2% и коэффициентом нестабильности по напряжению 0,1%/В.

Модули серии C5100 оснащены функциями дистанционного включения/отключения и внешней обратной связи (модели с выходными напряжениями до 150 В). Изделия серии C4700 оснащены полным комплектом защит и характеризуются значением КПД до 95%. Диапазон рабочих температур от  $-20$  до  $+75^\circ\text{C}$ , с возможностью заказа моделей с диапазоном рабочих температур от  $-40$  до  $+75^\circ\text{C}$ .

Конструктивно модули выполняются в компактных корпусах  $3U \times 40TE \times 538$  мм (В  $\times$  Ш  $\times$  Г) для установки в каркасы и оснащены соединителями CombiTec I/O. Они могут поворачиваться для моделей с высотой 5U. Доступно множество дополнительных опций: развязывающие диоды для параллельного включения и дублирования, дополнительное конструктивное упрочнение, сигналы о неисправностях, системный сброс, активное распределение тока нагрузки между модулями, функции программирования/мониторинга.

Модули питания серии C5100 предназначены для применения в оборудовании управления на железнодорожном транспорте, коммуникационном оборудовании, военных приложениях, системах управления производственными процессами и электростанциях.

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

Тел.: (495) 234-0636

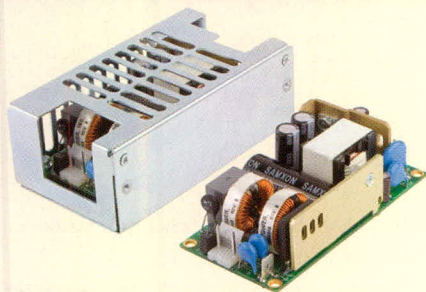
### 100-Вт источники питания AC/DC с площадью основания платы 101,6 $\times$ 50,8 мм

Компания XP Power начала поставки источников вторичного электропитания (ИВЭП) AC/DC-серии ECS100, которые отличаются высокой удельной мощностью, что позволяет уменьшить габариты системы. Источники питания новой серии ECS100 разработаны с применением самых современных технологий, включая «зелёную» интегральную микросхему для обеспечения потребления менее 0,5 Вт в дежурном режиме.

Ряд источников питания серии ECS позиционируется как следующее поколение



## Новости российского рынка



популярной серии ЕСМ. Начав с выпуска 100-ваттных моделей, компания XP Power в 2009 и 2010 гг. предложит 40- и 60-ваттные модели. Модули серии ECS100 обеспечивают при конвекционном охлаждении выходную мощность на 33% большую, чем модули серии ЕСМ60, а при скромном принудительном охлаждении воздушным потоком 10CFM на 66% большую. Серия включает одноканальные модели с выходными напряжениями 12, 15, 24, 28 и 48 В. Модули ECS100 предназначены для работы от однофазной сети переменного тока с диапазоном напряжения от 80 до 264 В (частота изменения сети 47...400 Гц) и от сети постоянного напряжения 120...370 В.

Площадь основания модулей серии ECS100 на 40% меньше, чем у моделей ЕСМ60, при той же выходной мощности. Габариты модулей ECS100 50,8 × 101,6 × 30,5 мм, значение удельной мощности 10,4 Вт/дюйм<sup>3</sup>.

Высокоэффективные источники питания ECS100 соответствуют требованиям стандартов IEC60950-1 и IEC60601-1 к безопасности, а по кондуктивным помехам и помехам излучения соответствуют требованиям стандарта EN55022 уровень В. Типовое значение КПД – 88%, выходное напряжение регулируется в диапазоне ±10% от номинального значения. Диапазон рабочих температур от –20 до +70°C с понижением

выходной мощности при температурах выше +50°C. При принудительном охлаждении воздушным потоком обеспечивается мощность 100 Вт, а при конвекционном отводе тепла в нагрузку обеспечивается мощность 80 Вт в нагрузке. Стандартными функциями являются защита от перенапряжения, перегрузки по току и короткого замыкания. Модули обеспечивают защиту от поражения электрическим током по классу I или II.

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

Тел.: (495) 234-0636

### 3D-стереоскопический дисплей SD2220W от компании Planar Systems

Представляемые компанией Planar Systems стереоскопические дисплеи серии SD обеспечивают наивысшее качество стереоизображения, доступное для настольных мониторов. Созданные с применением новаторской технологии Stereo Mirror™, эти дисплеи имеют уникальные разрешение и яркость.

Технология Stereo Mirror обеспечивает великолепное изображение, что особенно важно для применений новых дисплеев в картографии и фотограмметрии, в медицине, при молекулярном моделировании, для визуализации данных, при разведке нефти и газа, проектировании механических конструкций, в видеоиграх, имитационном моделировании и обучении.

Новый дисплей SD2220W обеспечивает отличное 3D-изображение формата WSXGA+ с разрешением 1680 × 1050 пикселей. Широкоформатный экран SD2220W позволяет получить одно из лучших стереоизображений, доступных в настоящее время. При использовании этого дисплея несколько



зрителей могут сидеть или стоять и при этом видеть «картинку» одинакового качества, потому что на экране нет «зоны наилучшего восприятия».

В отличие от дисплеев, выполненных на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ), в SD2220W отсутствует мерцание, благодаря чему расширенное стереоизображение воспринимается комфортно.

Основные технические параметры стереоскопического дисплея SD2220W:

Параметр .....	SD2220W
Формат .....	WSXGA+
Разрешение .....	1680 × 1050 пикселей
Количество мегапикселей .....	1,7
Шаг пиксела .....	0,282 мм
Размер диагонали .....	22"
Время отклика .....	0,5 мс (1,3 мс вкл.; 3,7 мс выкл.)
Яркость в стереорежиме .....	80 кд/м <sup>2</sup>
Кадровая развертка .....	60 Гц
Интерфейс .....	24-контактный DVI
Габариты (Ш × В × Г) .....	588 × 631 × 525 мм
Вес .....	27 кг

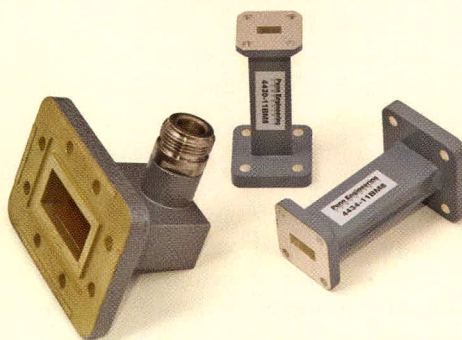
[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

Тел.: (495) 234-0636

## Приборы

### СВЧ-измерительные аксессуары от компании Penn Engineering (США)

Волноводные адаптеры сопряжения WR-62, WR-42, WR-28 представляют собой прямые волноводные секции для обеспечения перехода с импортного тракта на отечественный волновод при сопряжении оборудования ВЧ- и СВЧ-диапазонов в различных измерительных схемах и системах. Рабочие частоты – от 12,4 до 40 ГГц в зависимости от модели. КСВН волноводных секций ≤1,25. Материал корпусов – медь/бронза, серебряные внутреннее покрытие волновода. Возможен заказ волноводных адаптеров



требуемого частотного диапазона в различных исполнениях: по материалу корпусов и внутреннего покрытия (серебро, нержавеющей сталь, медь, бронза, алюминий, инвар), по номиналу проходного сечения, по типу фланца (контактный/дрессельный) и

его форме (круглая, прямоугольная, квадратная), по способу крепления волноводов, с поворотом проходного сечения волновода и др.

Другой вид измерительных принадлежностей – переходы волноводно-коаксиальные – представляют собой адаптеры для перехода с волноводного тракта на коаксиальный разъем SMA (3,5 мм) или К (2,92 мм). Диапазон частот от 12,4 до 40 ГГц. Возможно различное исполнение адаптеров: по материалу корпусов и внутреннего покрытия, по номиналу проходного сечения, по форме фланца, по способу крепления.

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

Тел.: (495) 777-5591

# Обзор рынка светодиодной подсветки и новых дисплеев фирмы Sharp

Вадим Смирнов (Москва)

В статье приведён анализ рынка светодиодной подсветки для ЖК-дисплеев, рассмотрена реализация светодиодной подсветки R-матриц Sharp промышленного назначения, проведена сравнительная оценка достоинств и недостатков люминесцентной и светодиодной подсветки и описаны различные технологические решения фирмы Sharp.

Спрос на рынке ЖК-панелей непрерывно возрастает, причём как в сегменте телевизионных панелей, так и в сегменте дисплеев для промышленного применения. В настоящее время основные тенденции развития ЖК-технологий связаны со светодиодной задней подсветкой.

В 2008 г. в мире было отгружено 70,8 млрд. шт. светодиодов. Из них 11%, или 8 млрд. шт., были использованы в системах задней подсветки ЖК-панелей. Это, главным образом, панели малого и среднего размера для ноутбуков, компьютерных мониторов, промышленных и телевизионных панелей. Прогнозируется, что в 2012 г. для систем задней подсветки дисплеев будет использовано 34 млрд. шт. светодиодов, или 20,3% всего объёма производства.

Следует учитывать, что это – рыночная доля для применения светодиодов, работающих в основном на малых и средних токах. Модули светодиодов с высоким световым выходом и рабочими токами от 350 мА здесь мало применимы из-за проблем с отводом тепла.

В силу технологического упрощения теплоотвода, невысокой стоимости, компактности и высокого светового выхода, оптимальными для светодиодной подсветки являются светодиодные модули на рабочие токи порядка 20 мА. Такие изделия особенно актуальны для

использования в дисплеях с большими диагоналями экрана.

Рынок светодиодной подсветки (LED BLU) матриц больших размеров, по прогнозам, увеличится с 92 млн. шт. в 2007 г. до 38,4 млрд. шт. в 2013 г. с рекордным среднегодовым темпом прироста в 173%.

Основные производители телевизионных панелей, включая фирмы Sharp, Sony, Samsung, Philips, Toshiba, Vizio и LG, планируют увеличить производство матриц со светодиодной подсветкой, начиная со второй половины 2009 г. С целью уменьшения себестоимости подсветки фирмы отказываются от размещения светодиодов по всей площади ЖК-матрицы и переходят к размещению светодиодов по периметру экрана, что увеличивает конкурентоспособность такого решения по сравнению с традиционной подсветкой люминесцентными лампами с холодным катодом (CCFL).

Оценивая рост потребностей в светодиодах для своих панелей, все основные производители матриц стали развивать собственное производство светодиодов или инвестировать в производство на стороне. По оценке исследовательского агентства DisplaySearch, в течение следующих 3 лет на рынке белых и голубых светодиодов для ЖК-подсветки будут доминировать, опираясь на свои патенты и долговременные контракты с производителями панелей, компании Nichia и Toyota Gosei.

Тем не менее, компании Sharp, Samsung LED, Stanley, Citizen, Showa Denko, Seoul Semiconductor и OSRAM также нацелены на рост производства систем LED BLU для телевизионного рынка. И, наконец, тайваньские производители, такие как Lite-On, Chi-Mei Lighting, Lighthouse и Everlight, также начали выходить на рынок светодиодной под-

светки для ЖК-дисплеев, предлагая недорогие решения.

Сегмент светодиодной подсветки на рынке ЖК-телевизоров стремительно развивается и продолжит это развитие в течение ближайших 5 лет, – считают аналитики компании DisplaySearch. В частности, согласно их прогнозам, доля светодиодной подсветки вырастет с менее чем 3% в 2009 г. до 40% в 2013 г. и превысит долю люминесцентной подсветки в 2014 г., заняв практически 50% рынка. В то же время отгрузки крупных светодиодных панелей во всех сегментах вырастут с 84,9 млн. шт. в 2009 г. до 434,8 млн. шт. в 2013 г., когда светодиодная подсветка будет использоваться в 54,3% всех ЖК-панелей с диагональю более 10 дюймов. При этом важно отметить, что хотя в сегменте телевизоров светодиодная подсветка распространяется стремительно, основным направлением её развития станет рынок ноутбуков, где, согласно прогнозу той же DisplaySearch, к 2012 г. на базе светодиодной подсветки будут выпускаться 100% всех новых моделей (см. рис. 1).

Тем не менее, сегмент ЖК-телевизоров является новой возможностью для светодиодной индустрии: ведущие фирмы, включая Samsung, LG и Philips, планируют начать массовое производство светодиодных моделей в ближайшее время. И, как результат, их отгрузки вырастут с 3,6 млн. шт. в 2009 г. до 15,1 млн. шт. в 2010 г.

Компания Sharp, оценивая возросшую ёмкость мирового рынка, ускорила строительство первого в мире завода 10-го поколения по производству стеклянных подложек для ЖКИ, значительная часть которых будет производиться со светодиодной подсветкой, и уже в октябре 2009 г. планирует выпустить первые изделия.

Технологические возможности нового завода Sharp в г. Сакаи (Япония) позволят обрабатывать стеклянные подложки ЖК-экранов площадью 9 м<sup>2</sup> (2880 × 3130 мм), что на 60% больше, чем подложки на заводе Sharp 8-го поколения «Камеяма II». Из новых заготовок можно производить шесть 60-дюймовых

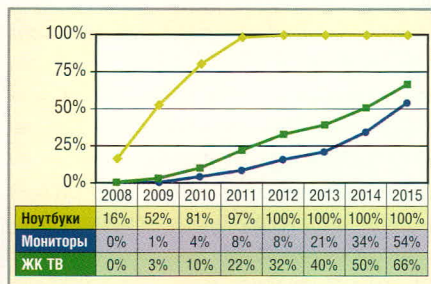


Рис. 1. Доля светодиодной подсветки в различных сегментах ЖК-рынка

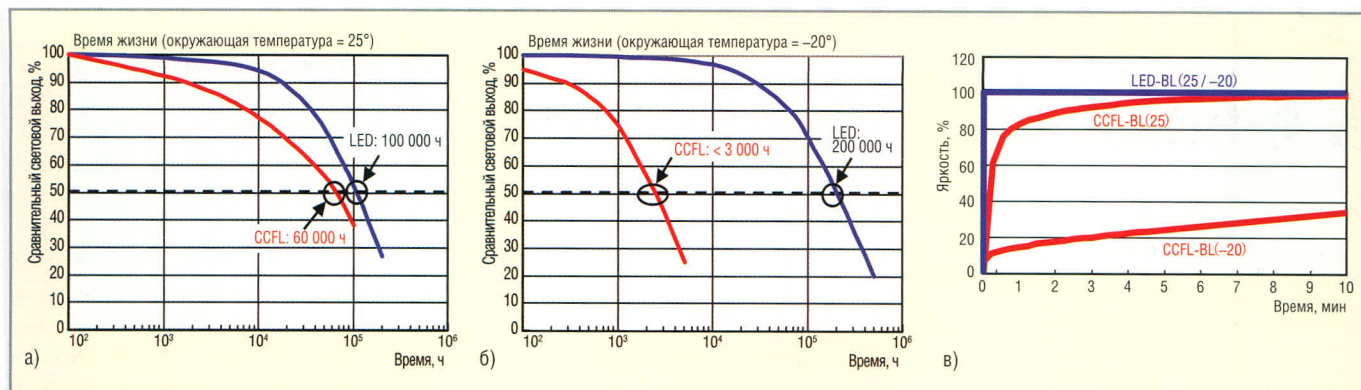


Рис. 2. Рабочие режимы CCFL и LED

а) сравнение времени жизни при комнатной температуре; б) сравнение времени жизни на морозе; в) сравнение скорости включения

моных или восемь 50-дюймовых ЖК-панелей.

Светодиоды применяются во всё более увеличивающемся объёме в дисплеях среднего и большого форматов. На протяжении последнего года все ведущие производители ЖК-дисплеев на выставках потребительской электроники по всему миру демонстрируют ультратонкие телевизоры со светодиодной подсветкой.

Насколько применима новая технология подсветки в промышленных устройствах? Требования к исполнению дисплеев промышленного назначения со светодиодной подсветкой довольно жёсткие: высокий уровень яркости экрана и её равномерность, расширенная управляемость, малая масса, низкая потребляемая мощность, длительная наработка на отказ в расширенном рабочем температурном диапазоне, высокая механическая прочность, длительная доступность для заказа и низкая цена.

Очевидно, что матрицы со светодиодной подсветкой являются привлекательной альтернативой для промышленных дисплеев, поскольку не имеют основных недостатков подсветки на люминесцентных лампах: сложности применения в низкотемпературных рабочих режимах (см. рис. 2а), а также в условиях постоянной вибрации. Кроме того, светодиоды не содержат ртути и работают при низком напряжении (см. таблицу 1).

Последний факт позволяет использовать матрицы со светодиодной подсветкой в отраслях промышленности, где возможна угроза взрыва. В качестве системы задней подсветки в промышленных дисплеях, светодиоды обладают дополнительными преимуществами, например, быстрой реакцией на поданное напряжение (см. рис. 2в). В условиях низких температур люми-

несцентные лампы не достигают полной световой отдачи и разогреваются достаточно медленно (см. рис. 2б). Напротив, светодиоды достигают полной светоотдачи практически немедленно после подачи напряжения, и яркость подсветки может изменяться в самом широком диапазоне, без негативного влияния на время жизни системы подсветки в целом. Окружающая температура ниже 25°C позволяет увеличить срок эксплуатации светодиодов свыше 50 тыс. ч.

Изменение конструкции подсветки обязательно должно учитывать существенно большее рассеяние тепла светодиодами по сравнению с люминесцентными лампами с холодным катодом (см. таблицу 2). ЖК-дисплеям со светодиодной подсветкой необходимо иметь специальный теплоотвод, чтобы удовлетворить промышленным

стандартам для рабочих температур от -30 до 80°C. Промышленные панели Sharp со светодиодной подсветкой оснащаются специально разработанным шасси для отвода тепла на заднюю стенку дисплея и далее в окружающую среду (см. рис. 3). Такой дисплей обеспечивает работу минимум в течение 50 тыс. ч.

В зависимости от модели, рабочая температура может составлять от -30 до 80°C. И во всём этом диапазоне светодиодная подсветка обеспечивают исключительные оптические характеристики. Новые матрицы также приспособлены к жёстким условиям эксплуатации, когда быстро меняются условия освещённости.

Светодиодная RGB-подсветка весьма важна для таких отраслей, как медицина, реклама или дизайн, с точки зрения качества цветопередачи. Цветовое

Таблица 1. Сравнение двух типов подсветки

Характеристики	CCFL-подсветка	LED-подсветка
Диапазон управления яркостью	25...100% (в зависимости от конструкции инвертора)	1...100%
Управляющее напряжение	Стартовое 1...1,5 кВ Поддерживающее 600 В	32 В
Опасные материалы	Ртуть	Отсутствуют

Таблица 2. Сопоставление достоинств и недостатков CCFL и LED BLU

Особенности	CCFL	LED	Примечание
Диагональ дисплея	++	-	Мониторам большой диагонали необходимо много светодиодов
Время работы при -30°C		++	CCFL: низкая температура уменьшает время жизни
Время работы при 0°C	+	++	
Время работы при +25°C	++	+	
Время работы при +60°C	++	-	
Время работы при +85°C	++	*	LED: высокая температура уменьшает время жизни
Экология		+	CCFL: ртуть
Управляющее напряжение		+	CCFL: до 1,5 кВ
Электромагнитное излучение	-	+	LED: пониженное излучение
Применимость во взрывоопасной среде	-	++	LED: отсутствует высокое напряжение
Управление яркостью	-	++	CCFL: уменьшается время жизни
Цветовая стабильность	++	+	
Стабильность яркости	+	+	
Цена и ремонтпригодность	-	++	Возможна замена отдельных модулей светодиодов
Механическая устойчивость	-	++	CCFL: чрезвычайно хрупкие

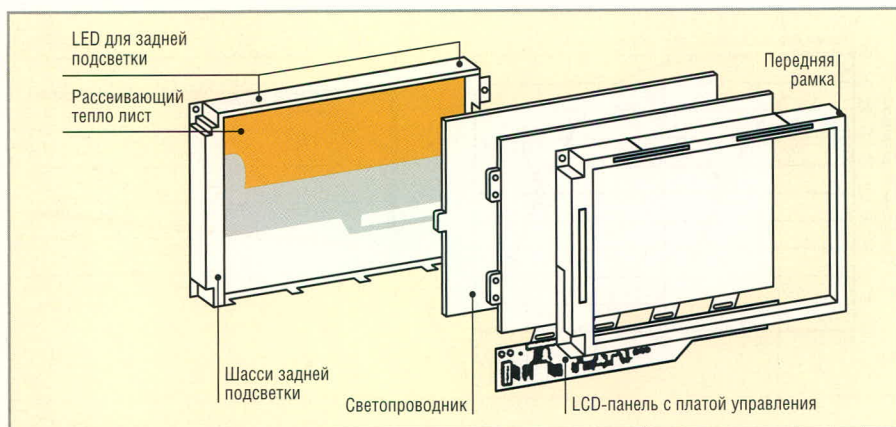


Рис. 3. Управление отводом тепла для LED BLU

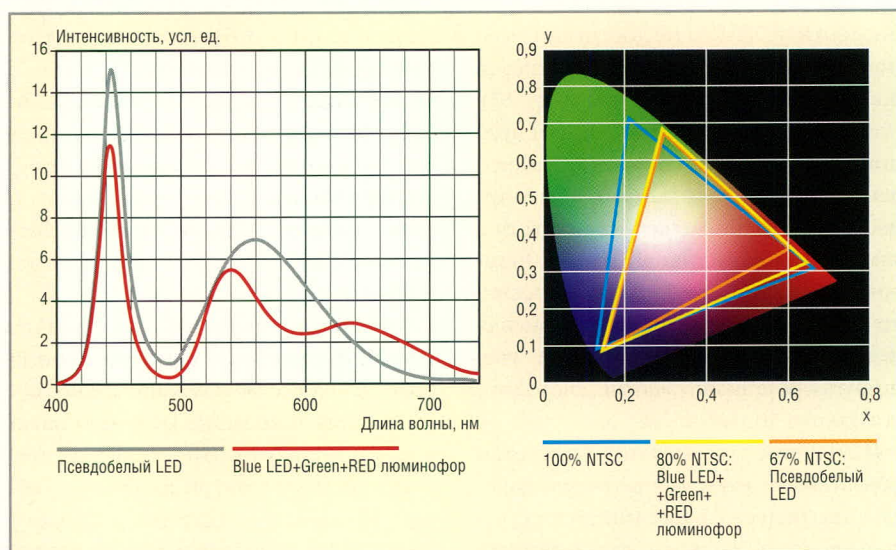


Рис. 4. Новый состав люминофора для натуральной цветопередачи

пространство такой подсветки может достигать 120% пространства NTSC (Национальная система цветного телевидения США).

Если требуется более компактное исполнение, покрытие светодиодных модулей улучшенным люминофором помогает расширить цвето-

вое пространство. Обычные белые светодиоды содержат синий кристалл, покрытый жёлтым люминофором. Волновой спектр такого псевдобелого светодиода содержит пик голубого света с длиной волны 450 нм и «впадину» между 500 и 630 нм. Однако, смешивая цвета красного и зе-

лёного люминофора, фирма Sharp преобразовала «впадину» в два сглаженных пика с вершинами на 540 и 640 нм (см. рис. 4). В результате удалось расширить цветовое пространство дисплеев до 80% пространства NTSC.

Для ЖК-панелей малых и средних размеров важна минимальная толщина матрицы, в таких случаях применяются светодиодные модули с боковым свечением. Компания Sharp производит такие модули (см. рис. 5а – 5в); они имеют линейные размеры 2,8 × 1,2 мм и толщину от 0,5 до 0,8 мм. Массовое применение таких изделий в дисплеях небольших диагоналей позволяет добиться равномерной подсветки при минимальной толщине ЖК-панели и небольшом тепловыделении.

В дисплеях с диагоналями от 10 дюймов чаще применяется фронтальная светодиодная подсветка (см. рис. 5г).

Фирма Sharp расширяет предложение ЖК-дисплеев промышленного назначения со светодиодной подсветкой двумя новыми дисплеями с диагоналями 12,1 и 23 дюйма. Ассортимент фирмы состоит теперь из девяти дисплеев с диагоналями экрана от 2,5 до 23 дюймов (см. таблицу 3).

Новый 23-дюймовый дисплей LQ231U1LW31 (см. рис. 6) отличается, прежде всего, хорошими оптическими характеристиками: яркостью 500 кд/м<sup>2</sup>, углом обзора до 170° по всем направлениям, глубиной цвета в 16 млн. цветов, а также высокой для промышленных дисплеев контрастностью 600 : 1. Антибликовое покрытие обеспечивает хорошую считываемость информации даже в условиях яркой засветки. Таким

Таблица 3. Линейка промышленных дисплеев Sharp со светодиодной задней подсветкой

Модель	LQ025Q3DW02	LQ035Q3DW02	LQ057V3DG02	LQ057Q3DG01	LQ084V3DG02	LQ104V1DG62	LQ121S1LG62	LQ150X1LG82	LQ231U1LW31
Размер дисплея, дюймы/см	2,5/6,3	3,5/8,9	5,7/14,5	5,7/14,5	8,4/21,3	10,4/26,4	12,1/30,7	15/38,1	23,1/58,7
Разрешение	320 × 240	320 × 240	640 × 480	320 × 240	640 × 480	640 × 480	800 × 600	1024 × 768	1600 × 1200
Размеры, мм (ш × в × г)	56,8 × 48,8 × 3,5	76,9 × 63,9 × 3,5	144 × 104,6 × 13,0	144,0 × 103,8 × 13,8	199,5 × 149,5 × ?	246,5 × 179,4 × 12,5	276,0 × 209,0 × 11,0	326,0 × 252,0 × 13,7	530,0 × 431,5 × 32,5
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	350	450	400	320	400	550	450	350	500
Контрастность	500 : 1	500 : 1	600 : 1	500 : 1	600 : 1	600 : 1	600 : 1	550 : 1	600 : 1
Угол обзора по горизонтали/вертикали, град	160/160	160/160	160/150	160/160	130/120	140/110	140/120	120/110	-
Количество воспроизводимых цветов	262 144	262 144	262 144	262 144	262 144	262 144	262 144	16 млн.	16 млн.
Температурный диапазон (рабочий/хранения), °С	-10...60/-25...70	-10...70/-25...70	-30...80/-30...80	-30...70/-30...70	-30...80/-30...80	-30...80/-30...80	-30...80/-30...80	0...+0/-25...60	0...60/-
Интерфейс	Дискретный 18-битовый RGB (6 бит/цвет)						LVDS		
Срок службы, ч	-	-	50 000	-	50 000	50 000	70 000	50 000	50 000
Особенности	ASV	ASV	Strong 2	Touch Screen	Strong 2	Strong 2	Strong2		ASV
Напряжение питания, В, пост. ток	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3/5,0	3,3/5,0	3,3	5,0

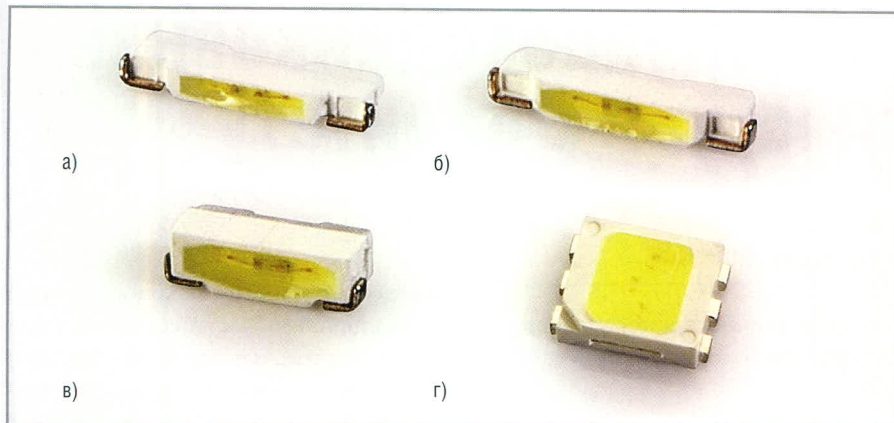


Рис. 5. Светодиоды фирмы Sharp: с боковым свечением

а) GM4BW53340A; б) GM4BW64310A; в) GM4BW84310A; г) с фронтальным свечением GM5BW93330A

образом, новый 23-дюймовый TFT-дисплей может применяться в качестве устройства отображения в промышленных системах управления вне помещений.

Семейство особо устойчивых изделий Strong2 также получило пополнение в виде модели со светодиодной подсветкой: новый TFT ЖК-дисплей с диагональю 12,1 дюйма LQ121S1LG62 отличается не только расширенным рабочим температурным диапазоном от  $-30$  до  $80^{\circ}\text{C}$  и повышенной механической прочностью, но, прежде всего,

своим исключительным сроком службы 70 тыс. ч.

Компания Sharp ожидает расширения новых, быстро растущих рынков и обсуждает будущие альянсы с местными компаниями и правительственными структурами. В качестве наиболее приоритетных рассматриваются рынки России, Восточной Европы, Китая, Латинской Америки, Ближнего Востока и Африки. Одним из партнёров Sharp в России по продвижению, в частности, ЖК-матриц и систем светодиодной подсветки является компания Прософт.

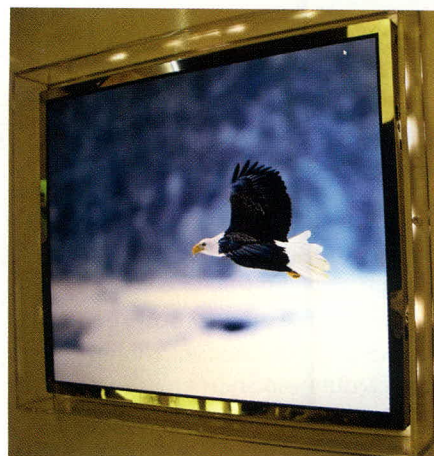


Рис. 6. Панель фирмы Sharp типа LQ231U1LW31

## ЛИТЕРАТУРА

1. Display LEDs: Lighting Up the Display World report. <http://www.displaysearch.com>.
2. Anke Schruter. <http://www.evertiq.com/news/14715>.
3. Anke Schruter. <http://www.evertiq.com/news/14351>.
4. @Astera <http://www.astera.ru/news/?id=70641>.
5. Recent Development of Polymer Network Liquid Crystal Displays. Toru FUJISAWA, Hidetoshi NAKATA, Masao AIZAWA, Journal of Photopolymer Science and Technology, 1998.
6. Sharp news release 15 June 2009. ©

# SHARP

## Strong2

# [LCD]

## НЕЗАМЕНИМ В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ



	Обычный LCD	Strong LCD1	Strong LCD2
Рабочий диапазон температур	0 до $+50^{\circ}\text{C}$	$-10$ до $+65^{\circ}\text{C}$	$-30$ до $+80^{\circ}\text{C}$
Диапазон температур хранения	$-25$ до $+60^{\circ}\text{C}$	$-30$ до $+70^{\circ}\text{C}$	$-30$ до $+80^{\circ}\text{C}$
Устойчивость к вибрации	От 57 до 500 кгц, ускорение 1g	От 57 до 500 кгц, ускорение 1g	От 57 до 500 кгц, ускорение от 1,5 до 2g
Устойчивость к ударным нагрузкам	50g, 11 мс	50g, 11 мс	от 60 до 70g, 11 мс
Яркость	300 кд/м <sup>2</sup>	Больше чем 300 кд/м <sup>2</sup>	Больше чем 400 кд/м <sup>2</sup>

Официальный дистрибьютор SHARP на территории России с стран СНГ

# PROSOFT®

## АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 • [info@prochip.ru](mailto:info@prochip.ru) • [www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)

# Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету

Виктор Лучинин, Юрий Таиров (Санкт-Петербург)

В статье описана история создания и развития отечественного метода производства перспективного материала для полупроводниковой промышленности и специальной техники.

## «Мал золотник, да дорог»

В ведущих электронных державах мира среди материалов полупроводниковой электроники по объёмам экономических вложений в процессы роста кристаллов, получения эпитаксиальных структур и создания приборов силовой электроники, СВЧ-электроники и оптоэлектроники доминируют широкозонные материалы – нитрид галлия (GaN), нитрид алюминия (AlN) и карбид кремния (SiC). Наряду с широкой запрещённой зоной, для них характерна достаточно высокая температура Дебая, которая определяет стойкость материала к внешним воздействиям.

В этом отношении, безусловно, выделяется карбид кремния – алмазоподобный материал, обладающий осо-

бой устойчивостью к радиационным, температурным, химическим и механическим воздействиям. Для SiC также характерна высокая допустимая напряжённость поля электрического пробоя и теплопроводность, превосходящая данный параметр у меди. Близкая к идеальной кристаллохимическая совместимость материалов указанной группы (см. рис. 1) предопределяет возможность создания структурно совершенных гетероэпитаксиальных композиций и твёрдых растворов.

Характерно, что все вышеуказанные материалы относятся к материалам, имеющим ширину запрещённой зоны более 3 эВ (за исключением 2,3 эВ у кубической модификации 3C-SiC). Данные особенности материалов не могли остаться незамеченными ис-

следователями и разработчиками приборов. В области силовой, в том числе быстродействующей электроники, наибольший интерес представляют структуры на основе карбида кремния; в СВЧ-электронике повышенной мощности доминируют композиции GaN/AlN/SiC; в оптоэлектронике особый интерес представляют структуры GaAlN/SiC, обеспечивающие излучение, в том числе в ультрафиолетовой области спектра. Для микросистемной техники важны такие свойства карбида кремния, как твёрдость и теплопроводность, а также наличие пьезоэффекта у нитрида алюминия.

Во многом конечный успех реализации указанной электронной компонентной базы (ЭКБ) определяется решением проблемы подложки, т.е. SiC-субстрата, к которому могут предъявляться различные требования, но главным среди них остаётся стоимость.

Выделим ряд технических требований, предъявляемых к подложкам SiC и определяющих эффективность создания на их основе широкой номенклатуры ЭКБ:

- диаметр 50,8...101,6 мм;
- толщина  $350 \pm 50$  мкм;
- структурная полнотипная однородность 4Н или 6Н;
- удельное сопротивление  $10^{-3}...10^{12}$  Ом см;
- тип проводимости n-(азот), p-(алюминий);
- плотность дислокаций  $<10^3$  см<sup>-2</sup>;
- плотность микропор  $<5$  см<sup>-2</sup>.

Дополнительные требования к подложке могут выдвигаться в отношении качества её предэпитаксиальной подготовки, с учётом реализации процессов эпитаксии SiC или соединений Me<sup>III</sup>N<sup>V</sup>, которые осуществляются, как правило, методом CVD, т.е. осаждением из газовой фазы, или методом MBE – молекулярной эпитаксией в глубоком вакууме. В настоящее время при выполнении определённой совокупности вышеуказанных требований стоимость подложки SiC в среднем составляет не менее 100 долл. США за 1 кв. дюйм.

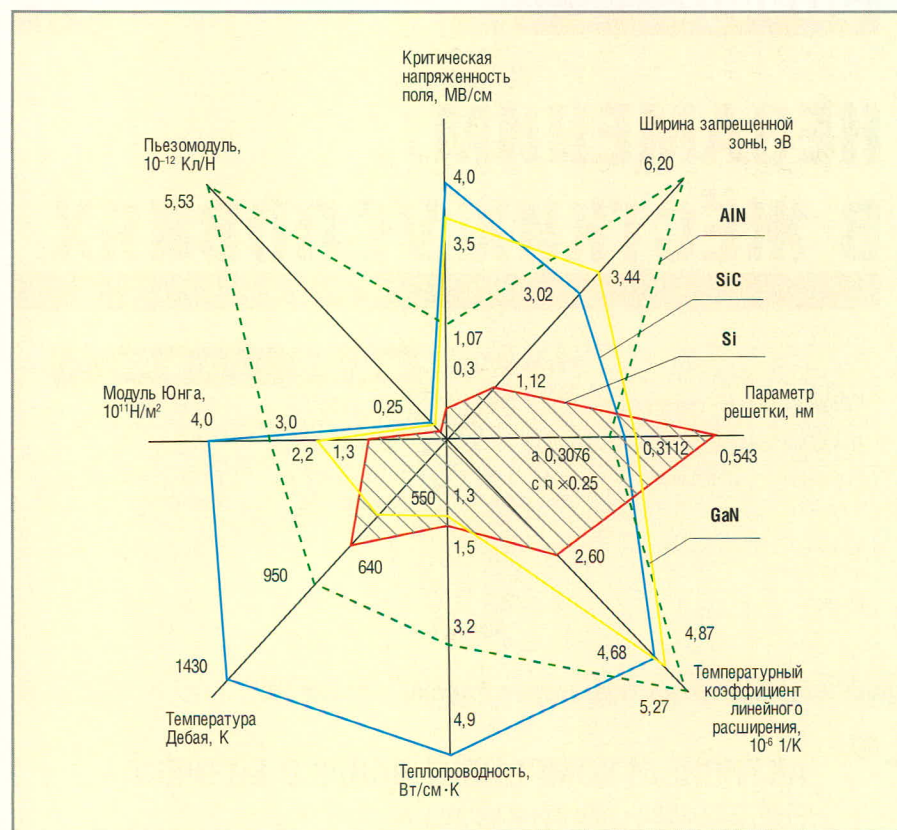


Рис. 1. Сравнение основных свойств материалов электронной техники Si, SiC, GaN, AlN

**От абразива к «ЭКСКЛЮЗИВУ»**

Выращивание монокристаллов карбида кремния для полупроводникового производства представляет собой достаточно сложную техническую задачу. Главной проблемой при получении кристаллов SiC является отсутствие у него жидкой фазы при реально технических достижимых давлениях, а также высокие температуры синтеза (см. рис. 2).

Наиболее распространённым методом выращивания полупроводниковых монокристаллов карбида кремния является метод сублимации, т.е. испарения и конденсации. Этот метод применяется как для получения абразивного материала, так и для выращивания монокристаллов, предназначенных для полупроводниковой электроники. Идея метода довольно проста и основана на переносе материала от горячего источника (шихты) к затравке, находящейся при более низкой температуре. В качестве источника используется шихта, представляющая собой измельчённый карбидокремниевый порошок. Сублимационный рост происходит в диапазоне температур 1800...2600°C. Рисунок 3 иллюстрирует эволюцию методов получения объёмных кристаллов карбида кремния.

Впервые метод сублимации для получения кристаллического материала был предложен в конце XIX в. американским физиком Эдвардом Ачесоном (E.G. Acheson) и используется в настоящее время с небольшими изменениями. Однако, кристаллический карбид кремния, получаемый методом Ачесона для производства абразивов (карборунд), имеет два основных недостатка, препятствующих его использованию в электронике: неконтролируемое структуро- и формообразование кристаллов и их сильное загрязнение.

В 1955 г. голландский физик Лели (J.A. Lely) опубликовал работу [1], являющуюся точкой отсчёта в развитии технологии получения монокристаллов полупроводникового SiC методом сублимации. Кристаллы, выращиваемые по методу Лели, позволили провести исследования фундаментальных свойств карбида кремния и изготовить первые полупроводниковые приборы на этом материале. Вместе с тем метод Лели, как и метод Ачесона, принципиально не позволяет выращивать кристаллы SiC большого размера, пригодного для серийного производства полупроводниковых приборов на SiC.

Комплексные исследования процессов массопереноса, термодинамики процессов в газовой фазе, кинетики кристаллизации и структурообразования политипов [2, 3] при выращивании карбида кремния обеспечили более глубокое понимание особенностей сублимационного роста SiC и сформировали основу нового подхода к синтезу монокристаллических слитков данного бинарного соединения. В 1978 г. профессором Ю.М. Таировым было впервые опубликовано сообщение о разработанном в Ленинградском электротехническом институте (ЛЭТИ, ныне СПбГЭТУ) методе получения объёмных слитков SiC, пригодных для изготовления приборов [4].

В основу данного метода, получившего название «Метод ЛЭТИ», были положены классическая схема конденсации пересыщенного пара на монокристалл-затравку (для управления процессом зародышеобразования), ограничение на начальном этапе кристаллизации скорости роста путём реализации данной стадии в атмосфере инертного газа (для подавления спонтанного зарождения и образования поликристаллов) и откачка инертного га-

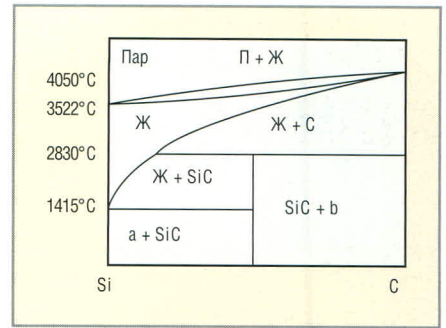


Рис. 2. Диаграмма состояния карбида кремния

за из камеры, вплоть до вакуума (для обеспечения постепенного увеличения скорости роста до нескольких миллиметров в час). В качестве затравок использовались монокристаллы Лели, а в качестве источника – поликристаллический карбид кремния, предварительно синтезируемый из кремния и углерода полупроводниковой чистоты.

С целью увеличения производительности данного процесса были проведены исследования кинетики массопереноса продуктов испарения исходной шихты. Установлено, что скорость роста слитков SiC зависит не только от скорости испарения самой шихты, но и от дополнительного насыщения паровой

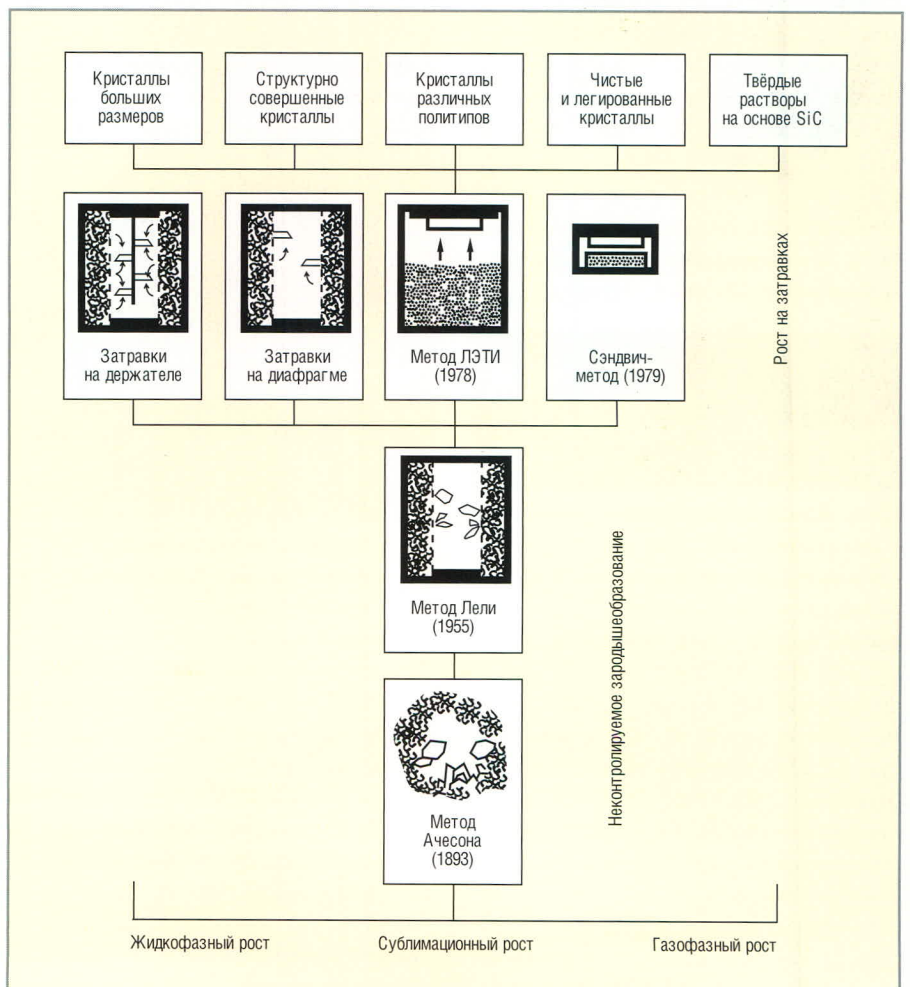
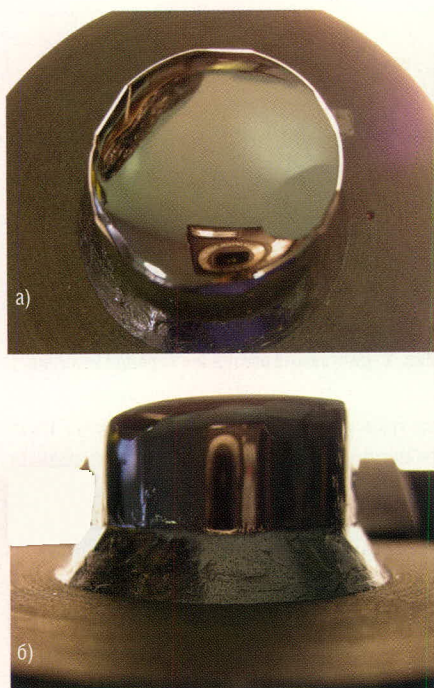
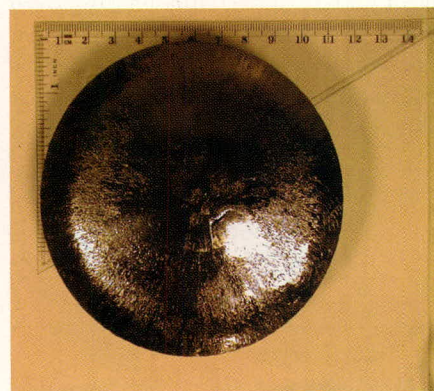


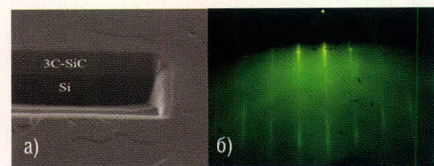
Рис. 3. Эволюция методов получения объёмных кристаллов карбида кремния



**Рис. 4. Слитки монокристаллического карбида кремния, выращенного «Методом ЛЭТИ»**  
а) вид сверху, б) вид сбоку

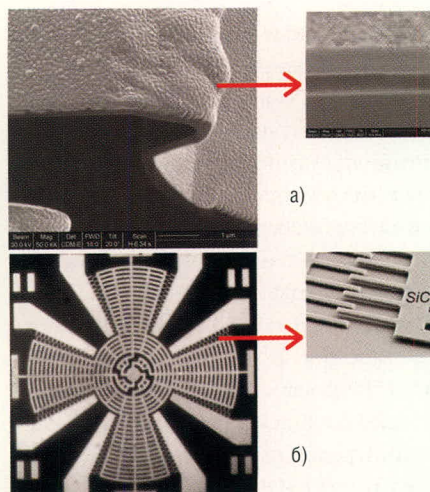


**Рис. 5. Экспериментальный образец слитка SiC диаметром более 100 мм (вид сверху)**

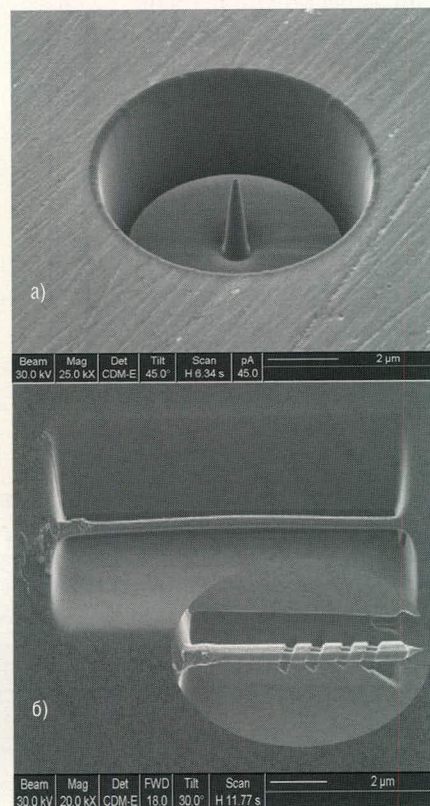


**Рис. 6. SiC поперечное сечение гетероструктуры «карбид кремния на кремнии» (а), и электронограмма поверхности слоя SiC (б), полученного методом конверсии приповерхностного слоя в газовой фазе**

фазы кремний- и углеродсодержащими компонентами за счёт взаимодействия паров кремния (имеющего избыточное давление над карбидом кремния) со стенками графитовой арматуры. Были также определены зависимости скорости роста слитков от температуры и осевого градиента температуры, а также от давления инертного газа в рабочем объёме. Понимание основных закономерностей сублимации



**Рис. 7. Элементы конструкции микроэлектромеханических приборов на SiC**  
а) двухслойная гофрированная мембрана SiC-AlN для виброакустического преобразователя;  
б) SiC-микропривод маятника гироскопа



**Рис. 8. Карбидокремниевые катоды для вакуумной эмиссионной электроники**  
а) термоэмиссионный (струна);  
б) автоэмиссионный (остриё)

онного роста привело к разработке конструкции и методики выращивания объёмных монокристаллов SiC больших размеров. В результате дальнейших исследований были выращены слитки карбида кремния диаметром до 100 мм и длиной 60 мм [5].

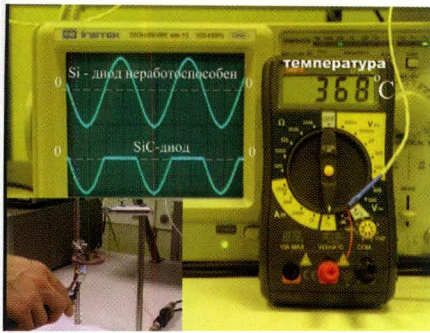
Сложность ранее рассмотренного процесса выращивания SiC методом сублимации определяется тем, что при температурах роста до 2300°C необхо-

димо осуществлять в реакторе точное регулирование процесса как по температуре, так и по давлению газа. Кроме того, следует контролировать продольные и осевые градиенты температуры и обеспечить низкий уровень загрязнений в оснастке и в шихте, учитывая при этом процессы взаимодействия паровой фазы с материалом тигля и изменение объёма источника в процессе выращивания. Все эти проблемы были в значительной степени преодолены, и сейчас в рамках технологического процесса выращивания слитков карбида кремния, реализуемого в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ», коммерчески доступными являются монокристаллы SiC диаметром 75 мм (см. рис. 4), а в разработке находятся слитки диаметром 100 мм (см. рис. 5). Такие размеры позволяют применять базовые процессы планарной технологии и создавать на основе кристаллов – подложек SiC – различные типы приборов силовой электроники, высокочастотной электроники, оптоэлектроники и микросистемной техники.

### КРЕМНИЕВАЯ АЛЬТЕРНАТИВА КАК ПЕРСПЕКТИВА

В последнее время в рамках развития различных технологических методов конверсии приповерхностного слоя кремниевой подложки [6] предпринимаются серьёзные попытки замены карбидокремниевой подложки на кремниевую. Процесс карбидизации может осуществляться ионной имплантацией углерода в кремний или обработкой поверхности подложки кремния углеродсодержащими газообразными композициями при температурах более 1300°C.

Процесс образования карбидизированного приповерхностного слоя является самоограниченным по толщине, которая, как правило, не превышает десятков нанометров. После чего возможно дорастивание слоев SiC и/или Me<sup>III</sup>N<sup>V</sup> традиционным методом CVD. Несмотря на очевидный прогресс в области гетероэпитаксии SiC на кремний, остаются проблемы механических напряжений на границе раздела, невысокого структурного совершенства синтезируемого SiC и его применения в качестве активного материала в силовых и СВЧ-приборах. Неоднозначно решается и проблема политипизма, поскольку на кремнии с базовой ориентацией (100), как правило, доминирует кубический политип 3С-



**Рис. 9. Выпрямляющие свойства карбидокремниевых диодов Шоттки при высокой температуре в сравнении с кремниевыми диодами на основе р-п-переходов**

SiC. На рисунке 6 представлены поперечные сечения полученных в СПбГЭТУ структур SiC-на-Si и электронограммы поверхности таких композиций.

**КАРБИДОКРЕМНИЕВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДОРОГО СТОИТ, НО ОНА ЭТОГО СТОИТ**

Освоение промышленного производства карбидокремниевых подложек, а также разработка перспективных конструктивно-технологических решений для реализации электронной компонентной базы силовой электроники, СВЧ-электроники, оптоэлектро-

ники и микросистемной техники на основе карбида кремния (см. рис. 7 – 9) и композиций GaN, AlN, SiC, Si позволит перейти к серийному отечественному производству технически востребованных и коммерчески эффективных ЭКБ нового поколения:

- приборов силовой электроники для эксплуатации в системах с повышенными значениями напряжений (до 4,5 кВ) и плотностей тока (до  $5 \times 10^3$  А/см<sup>2</sup>);
- приборов высокочастотной электроники для эксплуатации в системах с повышенными значениями показателя «мощность-частота» (до 10<sup>4</sup> Вт за 10<sup>-11</sup> с);
- датчиков основных физических величин (температуры, давления, потока, ускорения, вибрации) для эксплуатации в условиях высоких температур (более 400°C), радиации (до 10<sup>16</sup> нейтронов/см<sup>2</sup>) и агрессивных средах;
- светоизлучающих низковольтных (2...3 В) ресурсосберегающих светотехнических систем.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Lely J.A. Darstellung von Einkristallen von Siliciumcarbid und Beherrschung von Art

und menge der Eingebauten Verunreinigungen. Ber. Dt. Keram. Ges. 1955. Vol. 32. P. 229.

2. Кальнин А.А., Лучинин В.В., Нойберт Ф., Таиров Ю.М. Закономерность эволюции кристаллической структуры при синтезе веществ, обладающих множеством структурно-устойчивых состояний. Журнал технической физики. 1984. Том 54. Вып.7. С. 1388–1390.

3. Лучинин В.В., Таиров Ю.М. Гетероэпитаксиальная композиция: редкий политип карбида кремния 2Н на изолирующей подложке: нитрид алюминия-сапфир. Письма в ЖТФ. 1984. Том 10. Вып. 14. С. 873.

4. Tairov Yu.M. and Tsvetkov V.F. Investigation of growth processes of ingots of silicon carbide single crystals. J. Crystal Growth. 1978. Vol. 43. P. 209.

5. Авров Д.Д., Булатов А.В., Дорожкин С.И., Лебедев А.О., Таиров Ю.М. Рост слитков карбида кремния политипа 4Н на затравках с плоскостью (10-10). ФТП. 2008. Том 42. Вып. 12. С. 1483–1487.

6. Матузов А.В., Ильин В.А., Казак-Казакевич А.З. и др. Методика эпитаксиального наращивания кубического карбида кремния на кремнии по технологии CVD. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2007. Вып. 3. С. 22–26.





# КАРБИД КРЕМНИЯ – МАТЕРИАЛ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Политип: – 4Н, 6Н;  
 Политипная однородность: – до 100%;  
 Диаметр: – 50,8 мм (2")...101,4 мм (4");  
 Толщина: – 350 ± 50 мкм, 700 ± 50 мкм;  
 Отклонение от (0001): – 0; 8 градусов к <11.0>;  
 Тип проводимости: – п-тип (азот);  
 Уровень легирования: – 1.1017 – 5.1018 см-3;  
 Удельное сопротивление: – 0,005...0,1 Ом.см;  
 Плотность микропор: – 5...30 см-2;  
 Полуширина кривой качания FWHM0008 – 20";  
 Шероховатость поверхности < 2,5 нм.







**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "ЛЭТИ"**  
 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д.5, e-mail: SiCLab-Tairov@yandex.ru, т.(812)234-31-64

реклама

# Микросхемы для построения импульсных усилителей звуковых частот в современной звуковой и видеоаппаратуре

Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)

В статье рассмотрены основные характеристики серийных микросхем импульсных усилителей звуковых частот и особенности их применения.

В последнее время сфера применения импульсных усилителей звуковых частот (ИУ) существенно расширилась. Они применяются в телевизорах, мобильных телефонах и «гаджетах», CD/DVD-ресиверах и домашних кинотеатрах, автомобильной аппаратуре и профессиональных концертных усилителях большой мощности. Это обусловлено тем, что ИУ существенно превосходят линейные УМЗЧ по КПД и в ряде случаев не требуют громоздких теплоотводов. Высокая эффективность усилителей особенно важна для мобильных устройств, питающихся от аккумуляторов.

Основной большинства современных ИУ являются специализированные

микросхемы. С целью выявления наиболее широко используемых типов микросхем для ИУ и их производителей автором был выполнен анализ схемотехнических решений десятков моделей ресиверов, мини- и микросистем и систем домашних кинотеатров, выпущенных в 2002–2007 гг. В результате выяснилось, что импульсные усилители средней и большой мощности в звуковых трактах аппаратуры перечисленных категорий, наряду с традиционными усилителями, применяют фирмы JVC, LG, Philips, Samsung, Sony и некоторые другие. Реализованы ИУ в основном на специализированных интегральных микросхемах ведущих фирм (NSC, NXP, STM, TI и ONS), а так-

же «полупроводникового» отделения фирмы Sony. Микросхемы для ИУ, особенно для мобильных применений, представлены в каталогах 2008 г. и других фирм.

Схемотехника ИУ весьма разнообразна. Кроме усилителей в классе D существуют и другие, в том числе с патентованными технологиями DDX, UcD, Digital Power Processing, PurePath™ и т.д. Нередко для подобных устройств используется термин Digital Amplifiers, хотя реально звуковые сигналы в них преобразуются не в цифровую, а в импульсную форму, т.е. являются дискретно-аналоговыми. Тем не менее, отнесение некоторых ИУ к классу цифровых возможно, поскольку в ресиверах CD/DVD с ИУ, выполненных по технологии DDX, не используются ЦАП, а при воспроизведении дисков цифровые звуковые сигналы подаются на преобразователи кода во временной

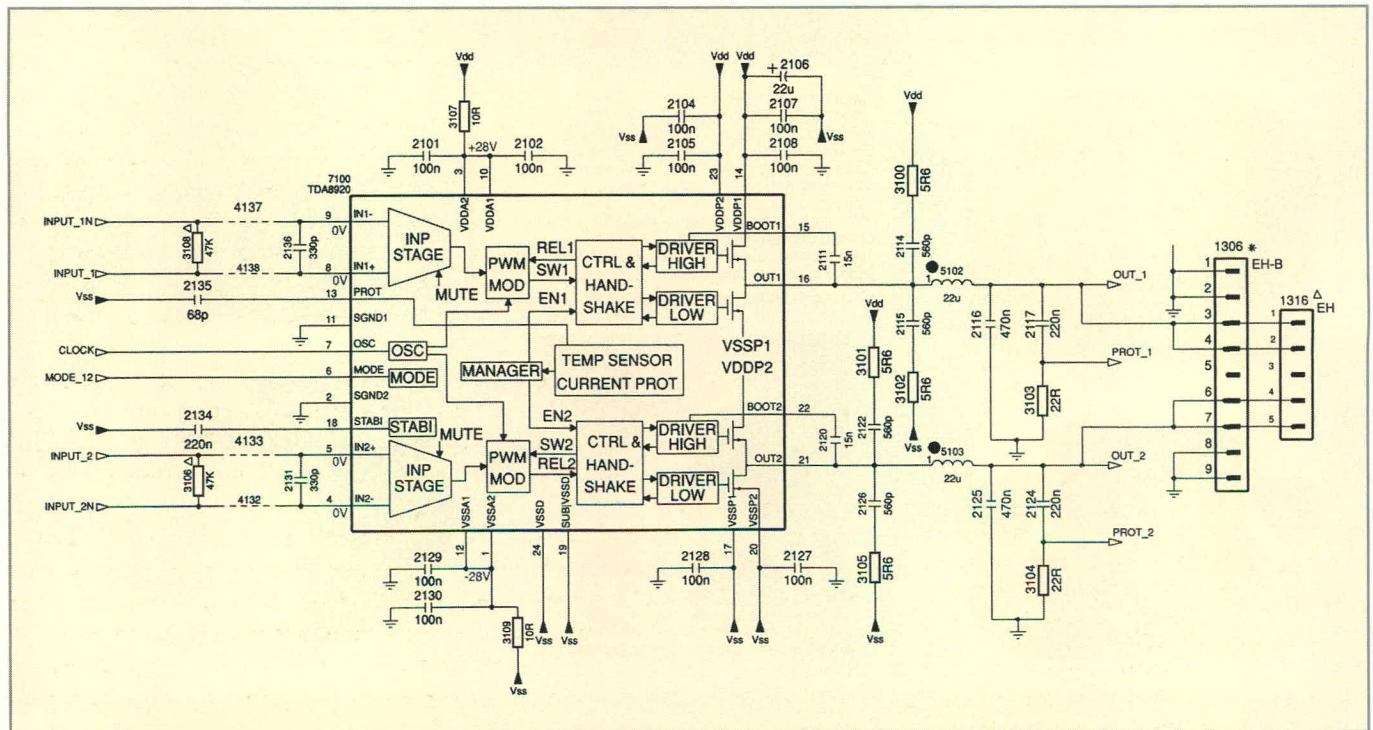


Рис. 1. Принципиальная схема звукового тракта DVD ресивера PHILIPS-LX-36000

OSC – задающий генератор; PWM MOD – ШИМ-модулятор; INP STAGE – входной каскад; TEMP SENSOR – датчик температуры

## Основные параметры микросхем для ИУ звуковых частот

Тип	Тип усилителя*	$P_{\text{вых}} \text{ SE, Вт}$	$P_{\text{вых}} \text{ BTL, Вт}$	$U_{\text{пит}}, \text{ В}$	$I_{\text{потр}}, \text{ мА}$	КПД, %	КНИ, %	$K_{\text{ч}}, \text{ дБ}$	$U_{\text{шр}}, \text{ мкВ}^{**}$	SVRR, дБ	$R_{\text{вх}}, \text{ кОм}$	Тип корпуса	Производитель
STA500	PS	2 × 30	60	30	1с 3,5 А							PowerSO36	STM
STA505	PS	2 × 50	80	40	1с 3,5 А							PowerSO36	STM
STA506	PS	2 × 60	80	S	4							PowerSO36	STM
STA506A	PS	2 × 60	80	45	4							PowerSO36	STM
STA508	PS	2 × 80	160	40	4,5							PowerSO36	STM
STA515	PS	4 × 20	60	40	3							PSSO36 slug up	STM
STA516B	PS	2 × 160	320	60	6							PSSO36 slug up	STM
STA517B	PS	2 × 175	350	60	6							PSSO36 slug up	STM
STA518	PS	4 × 24	80	40	3,5							PSSO36 slug up	STM
TDA7480	PA	1 × 10		±10...16	25	85	0,1	30	12	60	30	DIP20	STM
TDA7481	PA	1 × 18		±10...25	55	85	0,1	30	12	60	30	Multiwatt15	STM
TDA7482	PA	1 × 25		±10...25	40	87	0,1	30	12	60	30	Multiwatt15	STM
TDA7490	PA	2 × 25	50	±10...25	70	89	0,1	30	12	60	30	Flexiwatt25	STM
TDA7491	PA	2 × 20		5...18	26	90	0,1	20, 26, 32	25	50	60	PowerSSO-36	STM
TDA7491LP S	PA	2 × 5		5...14	26	90	0,1	20, 26, 32	25	50	60	PowerSSO-36	STM
TDA7491MV S	PA	1 × 25		5...18	26	90	0,1	20, 26, 32	25	50	60	PowerSSO-36	STM
TDA7491P	PA	2 × 10		5...18	26	90	0,1	20, 26, 32	25	50	60	PowerSSO-36	STM
TDA8920	PA	2 × 80	140	±15...30	75	90	0,02	30	230	55	68	HSOP24	NXP
TDA8920B	PA	2 × 100	210	±12,5...30	50		0,02	30	210	50	68	HSOP24	NXP
TDA8920C	PA	2 × 110	210	±12,5...30	50	88	0,05	30	160	70	63	HSOP24	NXP
TDA8922	PA	2 × 25	50	±12,5...30	55	90	0,02	30	230	50	68	HSOP24	NXP
TDA8922B	PA	2 × 50	88	±12,5...30	50		0,02	30		50		HSOP24	NXP
TDA8924	PA	2 × 120	240	±12,5...30	100	83	0,05	28	230	50	68	HSOP24	NXP
TDA8925	PS	2 × 15...25		±7,5...30	25	94	0,05					DBS17P	NXP
TDA8926	PS	2 × 50	100	±15...30	35	94	0,01	30				DBS17P	NXP
TDA8927	PS	2 × 80	150	±15...30	35	94	0,01	30				HSOP24	NXP
TDA8928J	PS	2 × 10	20	±7,5...30	25	90	0,05					DBS17P	NXP
TDA8931	PC	1 × 20		±6...17,5	20	91	0,02	20	128	48		S020	NXP
TDA8932	PA	2 × 15	30	±5...18	40	93	0,015	30	100	50	100	S032	NXP
TDA8933	PA	2 × 10	20	±5...18	40	90	0,01	30	100	50	100	S032	NXP
TFA9810	BA	2 × 12		8...20	35	89	0,04	19,7	150	45		S032	NXP

Источниками информации для таблицы послужили официальные листы данных производителей (data sheets) на каждый тип микросхемы. Значения ряда параметров в них нередко измерены при различных внешних факторах (сопротивления нагрузки, уровень искажений, частота и т.п.), поэтому для более корректного сравнения микросхем между собой следует использовать их листы данных.

Типы усилителей: PA (Power Amplifier) – полный усилитель мощности; PS (Power Stage) – оконечный каскад усилителя мощности; PC (Power Comparator) – мощный одиночный компаратор SE; BA (Stereo full-bridge audio amplifier) – стереофонический мостовой усилитель. Сокращениями в таблице обозначены: S – то же значение, что и выше; N – параметр не нормирован; D – параметр можно определить по графикам в листах данных.

Свойства цифровых усилителей фирмы STM (STA...) описываются набором параметров, существенно отличающимся от приведённого в таблице, поэтому для них приведены только некоторые основные параметры. Параметр  $U_{\text{ш}}$  соответствует выходному уровню шума у усилителей NXP и приведённому ко входу у усилителей STM (параметр eN - total input noise).

интервал. Технология DDX запатентована фирмой Arogee; микросхемы DDX на основе лицензионного соглашения выпускает фирма STM и, возможно, другие производители. В частности, фирма Sony в 2004-2007 гг. выпустила ряд моделей CD/DVD/SACD-ресиверов, в которых отсутствует ЦАП перед ИУ, однако ссылки на патенты фирмы Arogee в документации отсутствуют, а структура микросхем не раскрывается.

Схемотехника усилителей в классе D базируется в основном на широтно-импульсной модуляции, реже используется одноразрядная дельта-сигма-модуляция. В рассмотренной автором аппаратуре с ИУ в основном использованы микросхемы фирм NXP (TDA8920/

8924/8926/8927), STM (STA501/502/505/506) и TI (SAT5110/5112/5142/5508); фирма Sony, как правило, использует ИС собственного производства (CXD9702/9750/9774/9775/9883). Некоторые модели микросистем Philips базируются на ИУ, построенных на дискретных элементах.

В каталоге фирмы NXP на 2008 г. представлены следующие микросхемы для импульсных усилителей: TDA8920/B/C – усилители мощности в классе D с выходной мощностью 2 × 80/100/110 Вт (2002–2008 гг.); TDA8922/B – 2 × 25/50 Вт (2003–2004 гг.); TDA8924 – 2 × 120 Вт (2006 г.); TDA8925 – 2 × 15 Вт или 2 × 25 Вт (2004 г.); TDA8926/TH – 2 × 50 Вт (2002 г.);

TDA8927/TH – 2 × 80 Вт (2002 г.); TDA8928 – 2 × 10 Вт или 2 × 20 Вт (2004 г.); TDA8929T – контроллер ИУ в классе D (2001 г.); TDA8931 – компаратор с выходной мощностью 20 Вт (2005 г.); TDA8932/B – усилитель мощности в классе D (2006 г.); TDA8933 – усилитель мощности в классе D (2007 г.); TFA9810 – компаратор с выходной мощностью 2 × 12 Вт (2008 г.).

Микросхема TDA8920 впервые выпущена в 1998 г. в корпусах DBS17P и HSOP20 (под маркой Philips Semiconductor). В 2002 г. она была модернизирована – увеличена выходная мощность до 2 × 80 Вт, улучшены некоторые параметры, корпус заменён на HSOP24 (версия SOT566-3). Основные парамет-

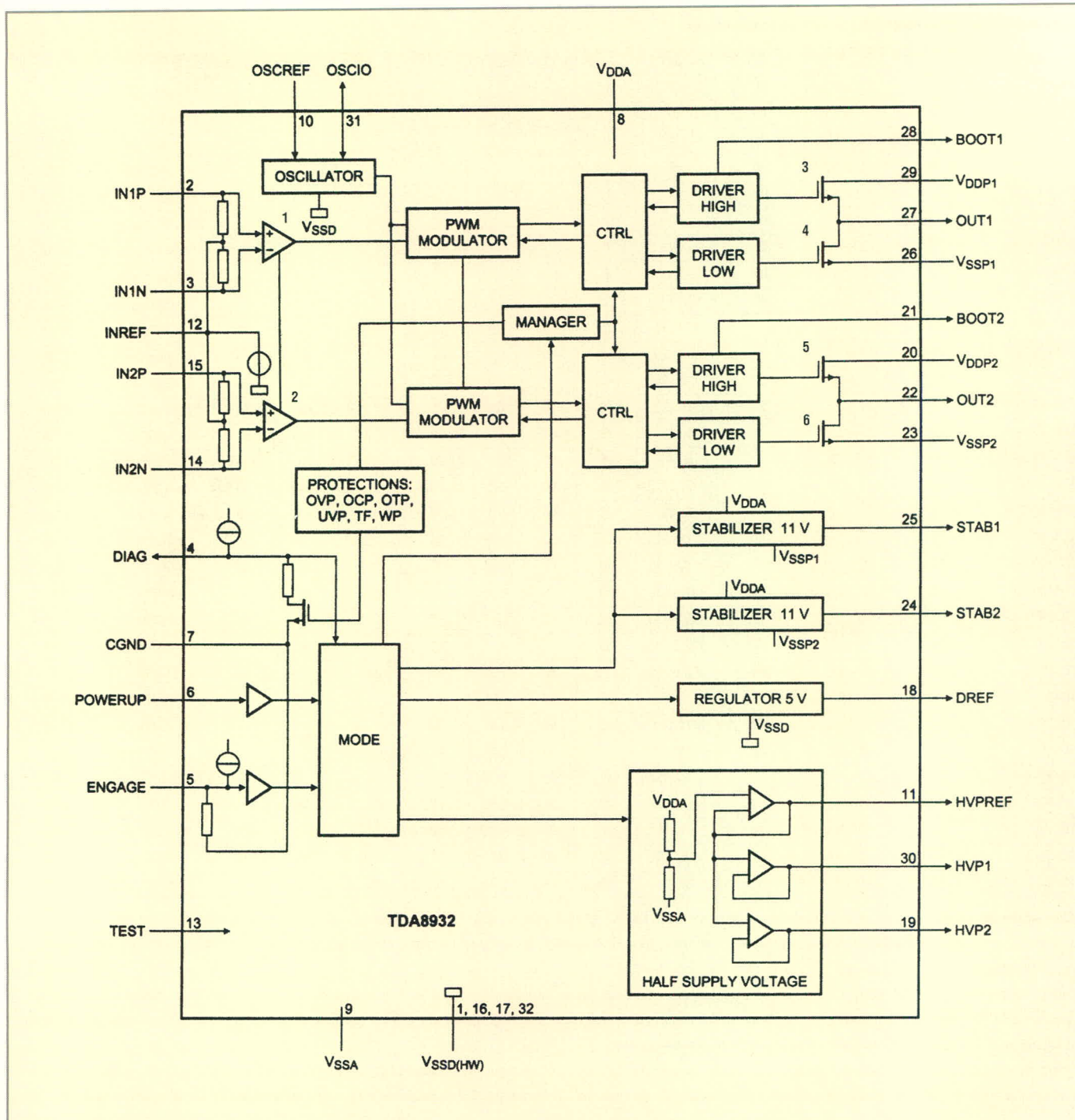


Рис. 2. Структура и нумерация выводов микросхемы TDA8932

ры микросхемы TDA8920 представле- ны в таблице.

На рисунке 1 приведена схема од- ного из ИУ (усилители фронтальных каналов) DVD-ресивера PHILIPS-LX- 3600D (2003 г.). Микросхема TDA8920 состоит из двух одинаковых каналов, в состав которых входят: входные кас- кады (INP STAGE), широтно-импульс- ные модуляторы (PWM), схемы управ- ления (CTRL & HAND-SHAKE), вы- ходные ключи (DRIVER HIGH/LOW). Общими узлами являются: генератор треугольного напряжения (OSC), схе- ма защиты от перегрузок и перегрева (TEMP SENSOR/CURRENT PROT) и схе-

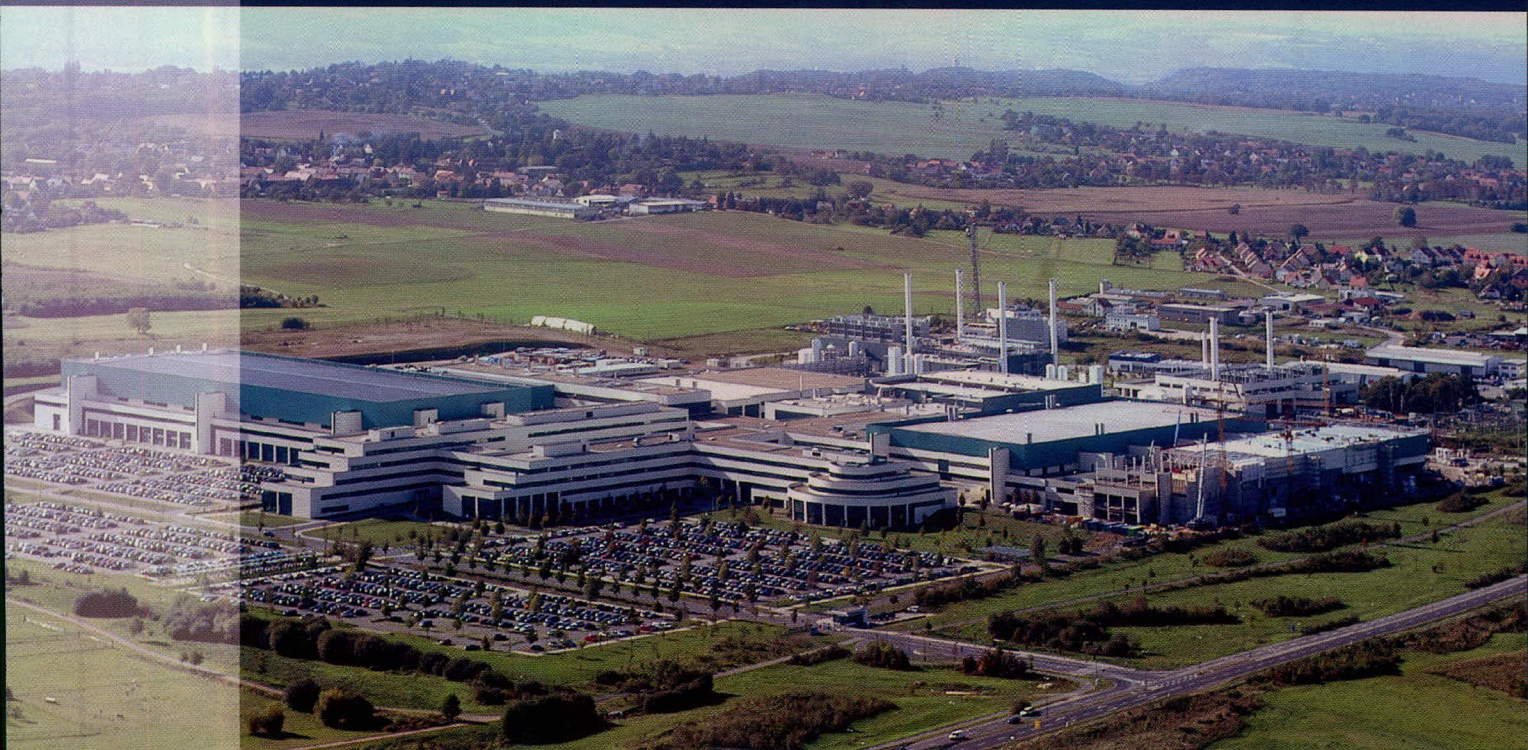
мы управления (MODE, STAB1, MAN- AGER). Генератор треугольного напря- жения может работать в режиме авто- колебаний, в этом случае вывод 7 мик- росхемы должен быть соединён с выводами 1, 12 (Vssa) через резистор R<sub>osc</sub> и конденсатор C<sub>osc</sub>. Фирмой ре- комендованы номиналы R<sub>osc</sub> = 30 кОм, C<sub>osc</sub> = 220 пФ; при этом частота генера- ции составляет порядка 350 кГц. В режи- ме внешней синхронизации резистор и конденсатор отключают, а на вывод 7 микросхемы подают тактовый сигнал размахом 3...5 В. В рассматриваемом ре- сивере используется внешний такто- вый генератор 301,35 кГц (или 350 кГц).

Входные парафазные сигналы пода- ются на выводы 9, 8 и 5, 4 микросхемы, где преобразовываются в импульсные. Выходные ШИМ-сигналы ИУ с выво- дов 16, 21 через ФНЧ 2-го порядка с частотой среза около 50 кГц поступают на акустические системы. Напряжения питания V<sub>dd</sub>, V<sub>ss</sub> ± 28 В подаются на со- ответствующие выводы микросхемы через высокочастотные дроссели (BEAD). Весь ИУ с целью снижения вы- сокочастотных излучений полностью экранирован.

Микросхема TDA8924 (TH) по струк- туре и назначению выводов не отли- чается от TDA8920; их корпуса также



# Инженерные решения для промышленных объектов



- Генеральный подрядчик – Проектирование, Закупки, Строительство
- Заводы по производству полупроводников и плоскопанельных дисплеев
- Проектирование и строительство фабрик для фотоэлектрической промышленности
- Ко- и тригенерационные электростанции
- Установки производства газа из биомассы и геотермальные электростанции
- Фотоэлектрические и солнечные тепловыделяющие электростанции
- Инженерная инфраструктура Центров Обработки Данных
- Инженерное обеспечение предприятий аэрокосмической промышленности
- Инженерное обеспечение научно – исследовательских центров
- Инженерное обеспечение в области автомобилестроения и производства аккумуляторных батарей
- Инженерное обеспечение и автоматизация объектов фармацевтической и химической промышленности

M+W Цандер предлагает услуги по обеспечению полного жизненного цикла высокотехнологичных заводов, а также инженерные инфраструктуры, включая любые дополнительные услуги и услуги по модернизации и переоснащению существующих производственных объектов по всему миру.

Нашими главными клиентами являются ведущие предприятия электронной промышленности, солнечной энергетики, фармацевтики и химической промышленности, автомобилестроения и информационных технологий, а также научно – исследовательские институты и университеты.

Общее количество сотрудников компании по всему миру - 4500 человек, они обеспечивают лидирующее положение M+W Цандер в области предоставления услуг для самых разных отраслей промышленности. Расположенная в Штутгарте холдинговая компания M+W Zander Group GmbH контролирует деятельность группы по всему миру. С учетом трех основных подразделений компании – «Инженерные Решения», «Технологические Решения» и «Продукция» общий объем продаж группы в 2008 финансовом году составил 1,73 миллиарда Евро.

**M+W Цандер ФИ ГмбХ**  
Лоттербергштрассе 30,  
70499 Штутгарт, Германия

**ООО „M+W Цандер Фэсилити Инжиниринг“**  
123022, г. Москва, Россия  
ул. 2-я Звенигородская, д.13, стр. 42

**M+W Zander FE GmbH**  
Lotterbergstr. 30  
70499 Stuttgart, Germany  
Тел +49 711 8804-1100  
info@mw-zander.com  
www.mw-zander.com

Тел: +7 495 662 32 20  
Факс: +7 495 64116 83  
info@mw-zander.ru  
www.mw-zander.ru

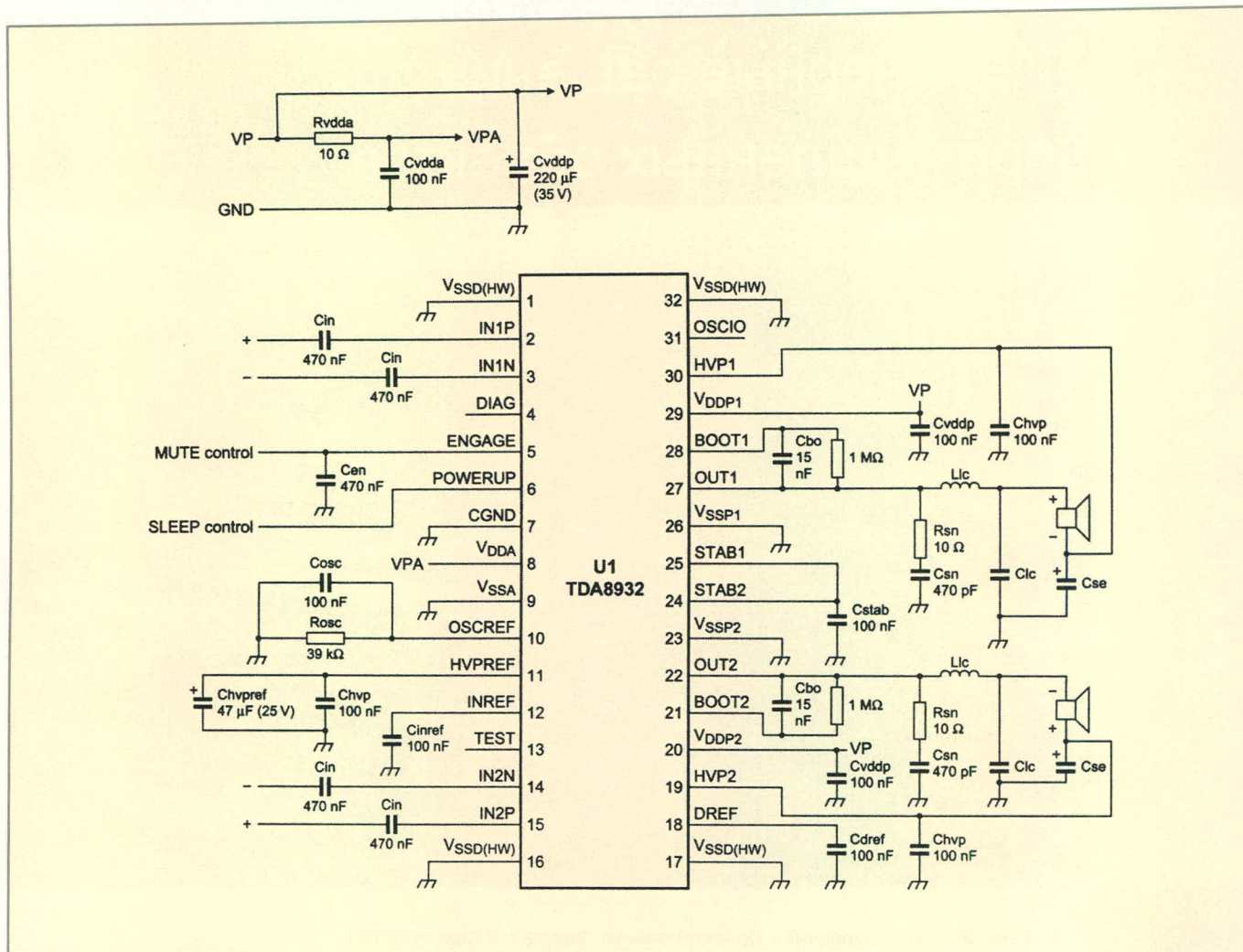


Рис. 3. Типовое включение микросхемы TDA8932

одинаковы. Параметры микросхемы TDA8924 приведены в таблице.

Микросхема TDA8932 является высокоэффективным ИУ в классе D. В качестве выходных ключей применены диффузионные МОП-транзисторы (Diffusion Metal Oxide Semiconductor). В стереофоническом режиме возможно получение выходной мощности  $2 \times 15$  Вт на нагрузке 4 Ом без использования теплоотвода (в мостовом включении BTL мощность составляет 30 Вт). Однополярное напряжение питания составляет 10...36 В, двухполярное  $\pm(5...18)$  В. Возможна работа с внутренним и внешним задающими генераторами. Микросхема предназначена для использования в телевизорах и мониторах, в системах мультимедиа, беспроводных акустических системах, мини- и микросистемах и т.п. Основные параметры ИС приведены в таблице.

Структура и нумерация выводов микросхемы TDA8932 приведены на рисунке 2. В состав ИС входят: задающий генератор (OSCILLATOR); входные дифференциальные усилители 1, 2;

широотно-импульсные модуляторы (PWM MODULATOR); узлы управления (CTRL); предварительные импульсные усилители (DRIVER HIGH/LOW); силовые ключи 3 – 6; блок защиты (PROTECTIONS: OVP, OCP, OTP, UVP, TF, WP); устройство управления режимами (MODE, MENAGER); стабилизаторы на

напряжения 11 В/5 В), источник образцового напряжения Vdd/2.

Типовое включение микросхемы в стереофоническом режиме с однополярным питанием (выводы Vssa, Vssd, Vssp1, Vssp2 соединены с корпусом) показано на рисунке 3. Входные парафазные звуковые сигналы левого и правого каналов подаются на выводы 2, 3 и

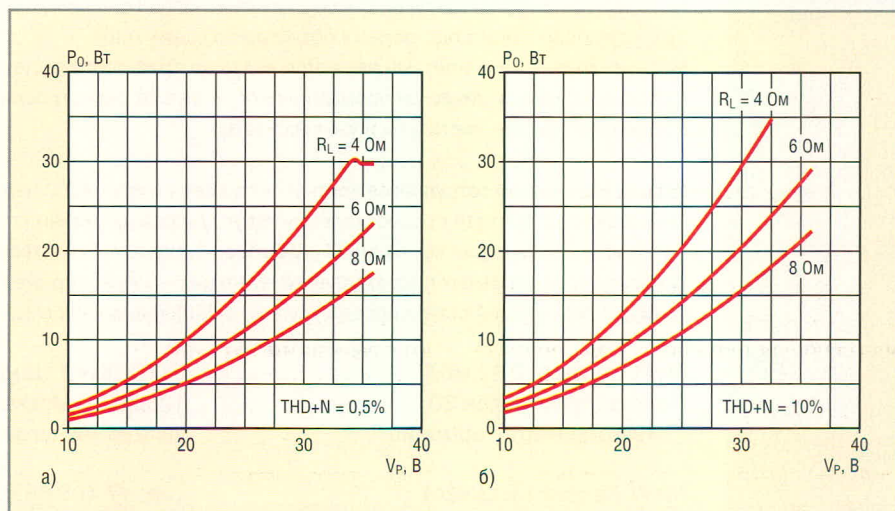


Рис. 4. Зависимости выходной мощности от напряжения питания микросхемы TDA8932  
THD+N = КНИ + шум

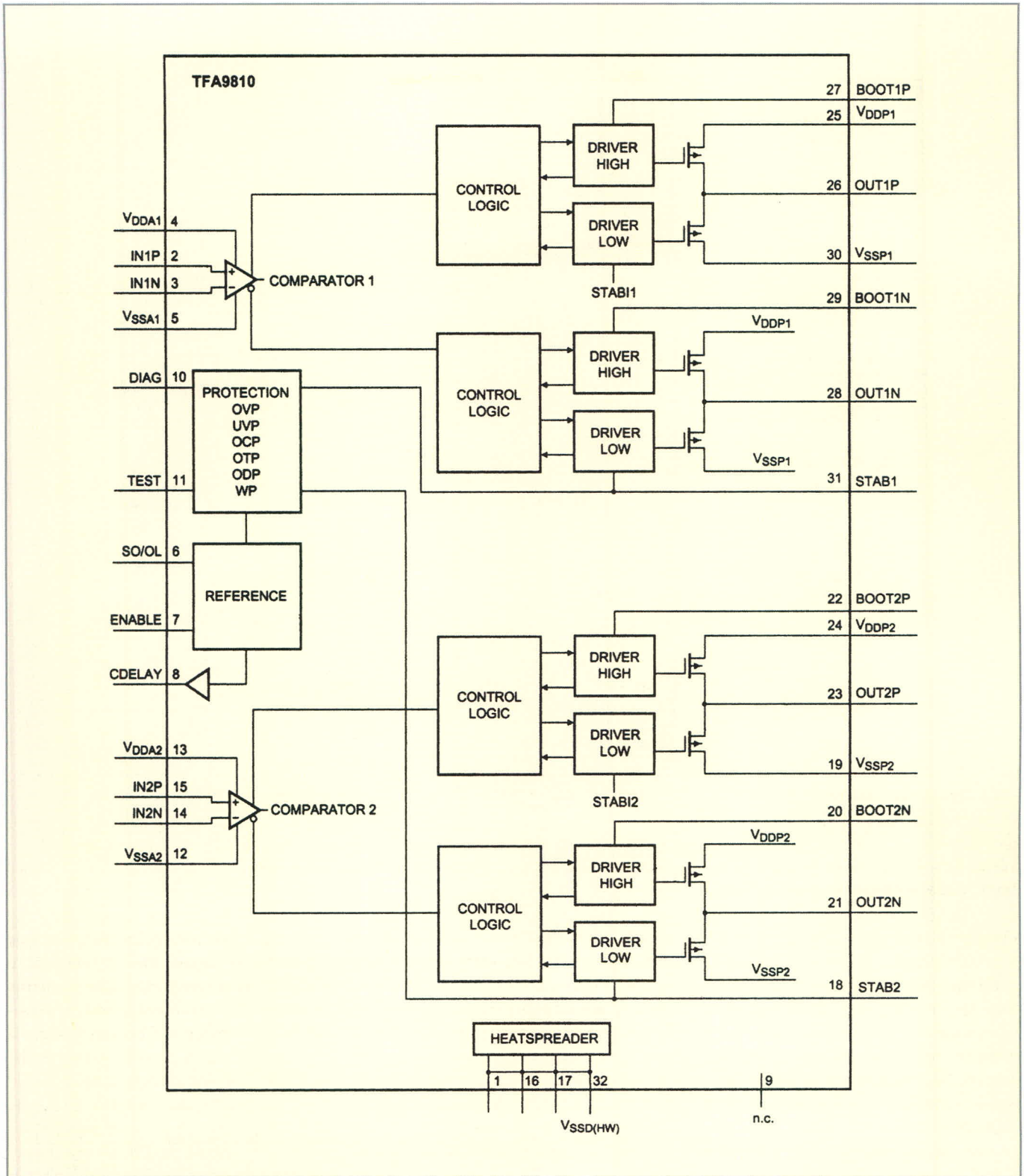


Рис. 5. Структура и нумерация выводов микросхемы TFA9810

14, 15 соответственно. Внутренний генератор треугольного напряжения работает в режиме автоколебаний, времязадающая цепь  $R_{osc}$ ,  $C_{osc}$ , подключенная к выводу 10, обеспечивает частоту генерации порядка 320 кГц. При использовании в одном устройстве нескольких микросхем рекомендуется одну из них использовать в качестве ведущей (Master mode), остальные – в ведомом режиме (Slave mode).

При этом выводы 31 (OSCIO) всех микросхем соединяют между собой; у ведомых микросхем выводы 10 соединяют с выводами 16 ( $V_{SSD}$ ).

Режимы работы ИС определяются уровнями управляющих напряжений на выводах 6 (POWERUP) и 5 (ENGAGE). В дежурном режиме (Sleep) в обеих цепях напряжение должно быть менее 0,8 В, в режиме приглушения (Mute) на выводе 6 – от 2 до 6 В, на выводе 5 – ме-

нее 0,8 В; в рабочем режиме на обоих выводах должно быть напряжение от 3 до 6 В. Получение минимальных искажений при заданной выходной мощности ИУ возможно при правильном выборе напряжения источника питания. На рисунке 4 приведены зависимости выходной мощности микросхемы в стереорежиме от напряжения питания при различных сопротивлениях нагрузки и общих гармонических ис-

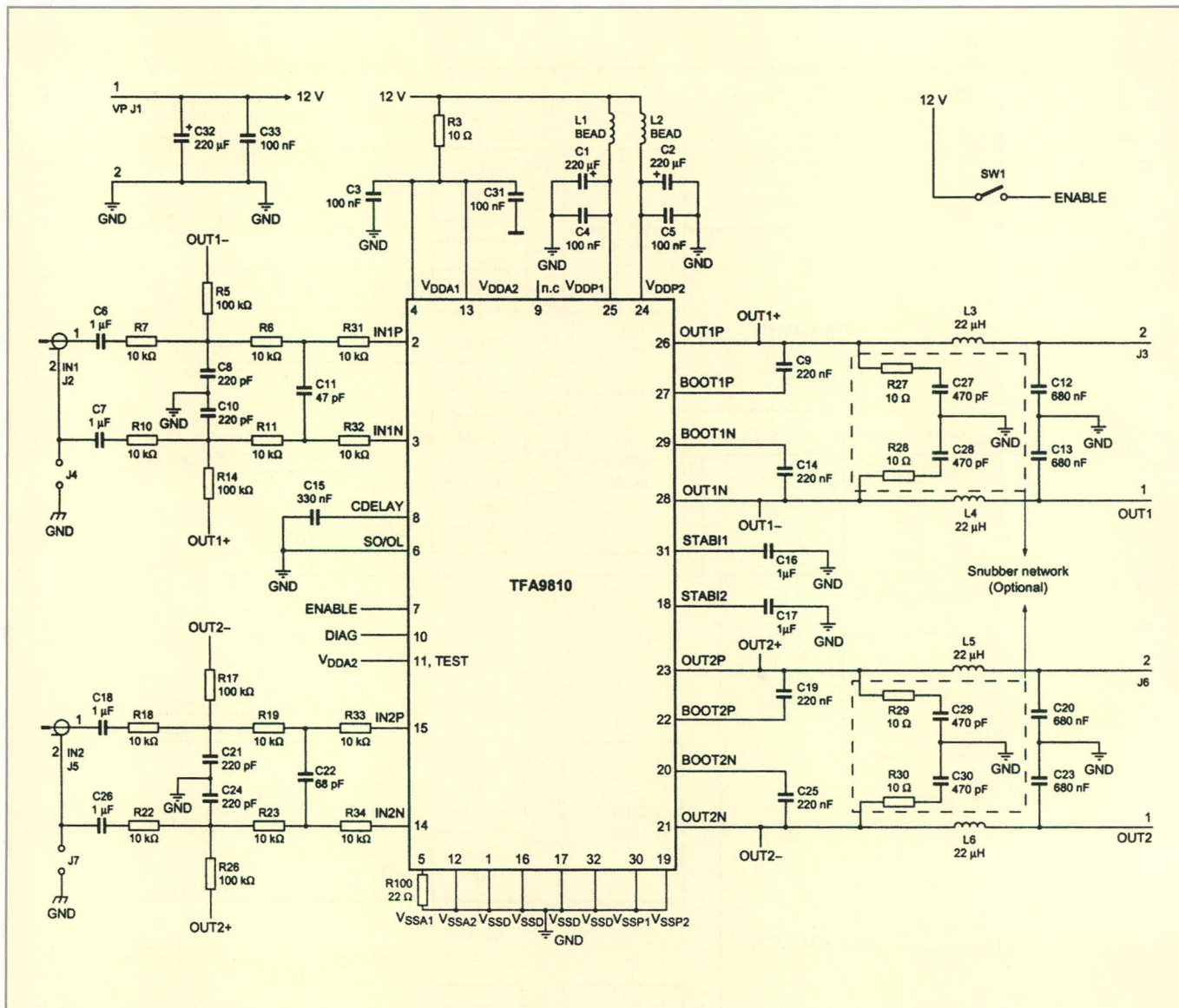


Рис. 6. Типовое включение микросхемы TFA9810

кажениях (рис. 4а – THD + N = 0,5%, рис. 4б – 10%).

Для получения плоской АЧХ ИУ на выходе устанавливают ФНЧ Батерворта 2-го порядка; параметры элементов фильтра определяются сопротивлением нагрузки. Изготовителем ИС рекомендованы следующие номиналы пассивных компонентов  $L_{ic}$ ,  $C_{ic}$ : при  $R_H = 4 \text{ Ом}$  – 22 мкГн, 680 пФ; при  $R_H = 6 \text{ Ом}$  – 33 мкГн, 470 пФ;  $R_H = 8 \text{ Ом}$  – 47 мкГн, 330 пФ (стереорежим). При указанных значениях верхняя граничная частота ИУ по уровню –3 дБ составляет 50 кГц. Нижняя граничная частота определяется значением ёмкости конденсаторов  $C_{sc}$ : 20 Пф по уровню –3 дБ при работе в стереорежиме обеспечивается при  $C_{sc} = 2200 \text{ мкФ}$  ( $R_H = 4 \text{ Ом}$ ), 1500 мкФ ( $R_H = 6 \text{ Ом}$ ), 1000 мкФ ( $R_H = 8 \text{ Ом}$ ).

Микросхема TDA8933 отличается от TDA8932 меньшей выходной мощностью, 2 × 10 Вт в однофазном режиме и 1 × 20 Вт в мостовом режиме;

структура, назначение и нумерация выводов совпадают. Основные параметры микросхемы TDA8933 приведены в таблице.

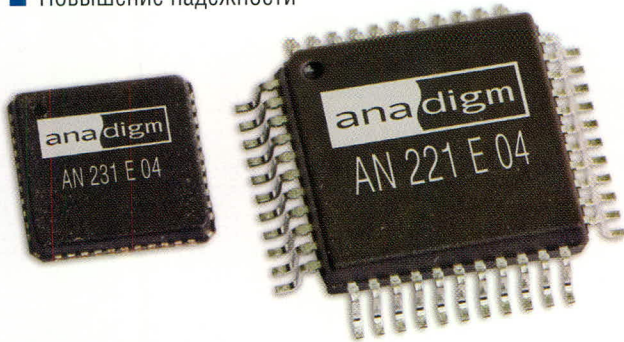
Микросхема TFA9810 является мощным двоячным компаратором, предназначенным для использования в усилителях, работающих в классе D, и «цифровых» усилителях (DDX и т.п.). В отличие от рассмотренных выше микросхем (см. рис. 2), в структуру TFA9810 не включены генератор треугольного сигнала, ШИМ и входные аналоговые усилители. На входы микросхемы можно подавать как ШИМ-сигналы, так и аналоговые звуковые сигналы. Структура и нумерация выводов микросхемы приведены на рисунке 5. В состав микросхемы входят: компараторы (COMPARATOR 1, 2) входных импульсных сигналов, устройство управления (REFERENCE) и «теплоотводящая структура» (HEAT SPREADER), назначение остальных узлов – аналогичное.

Режимы работы ИС, определяемые уровнем напряжения на выводе 6 (SO/OL), задаёт устройство управления (REFERENCE). При соединении вывода 6 с цепью  $V_{ssd} \text{ HW}$  (корпус) микросхема работает в режиме автоколебаний (SO), а на входы компараторов следует подавать аналоговые звуковые сигналы. При работе с отключённым выводом 6 микросхема переходит в режим с разомкнутой обратной связью, а на входы следует подавать ШИМ-сигналы. Напряжение на выводе 7 (ENABLE) задаёт рабочий (более 3 В) или дежурный (менее 0,8 В) режимы. При работе ИС в режиме автоколебаний к выводу 8 (CDELAY) подключается времязадающий конденсатор. Выводы 1, 16, 17, 32 ( $V_{ssd} \text{ HW}$ ) ИС должны быть соединены с фольгированными участками печатных, при этом необходимость в специальном теплоотводе отпадает. Основные параметры микросхемы TFA9810 приведены в таблице.

# ПРОГРАММИРУЕМЫЕ АНАЛОГОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ: ВСЬ СПЕКТР АНАЛОГОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОДНОМ КРИСТАЛЛЕ!

## ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА FPAА

- Статическая и динамическая конфигурация структуры
- Однокристалльные системы аналоговой обработки
- Программное изменение характеристик системы
- Автоматически перестраиваемые и адаптируемые схемы
- Упрощение настройки и регулировки
- Увеличение жизненного цикла изделия
- Снижение стоимости
- Повышение надёжности



Микросхемы FPAА Anadigm

## Отладочный комплект AN231K04-DVLP3

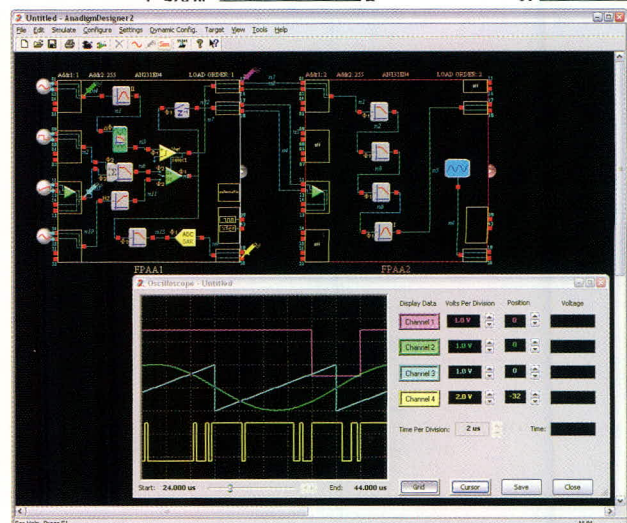
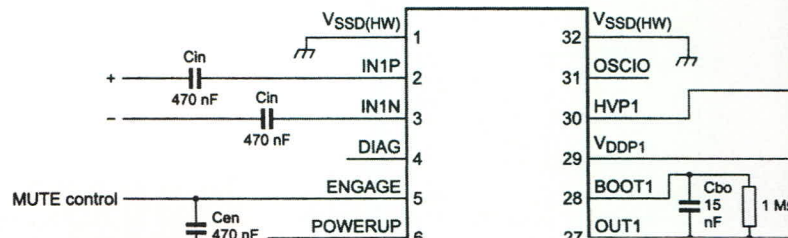
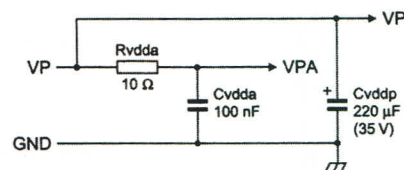
- Отладочная плата AN231K04, кабель RS-232, САПР Anadigm Designer®2
- Открытая лицензия, техническая документация, руководство пользователя на русском языке
- Техническая поддержка и консультации

## САПР Anadigm Designer®2

- Простой и интуитивно понятный интерфейс
- Четырехканальный виртуальный осциллограф
- Автоматическое формирование С-кода для управления с микропроцессора или микроконтроллера
- Автоматическое формирование конфигурационных данных

## На одном кристалле FPAА содержится:

- Дифференциальные компараторы
- Операционные и инструментальные усилители
- Инструментальные усилители
- Фильтры
- Источники образцового напряжения
- Усилители-ограничители
- Мультиплексор
- Выпрямители с ФНЧ
- Генераторы синусоидального сигнала
- Генераторы периодических сигналов специальной формы
- АЦП последовательного приближения
- Программируемые усилители



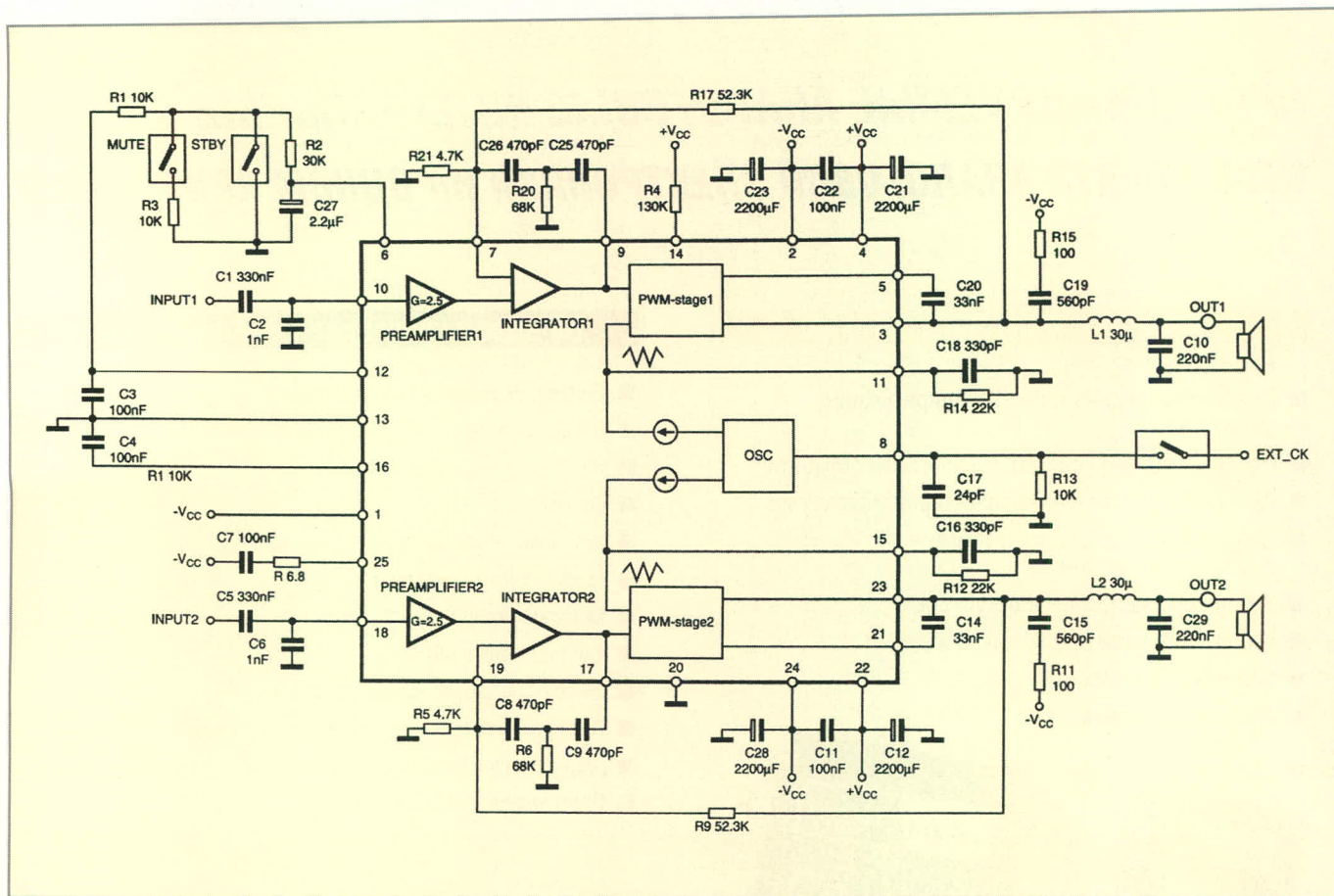


Рис. 7. Типовое включение микросхем STA505, STA506, STA508 с однополярным питанием

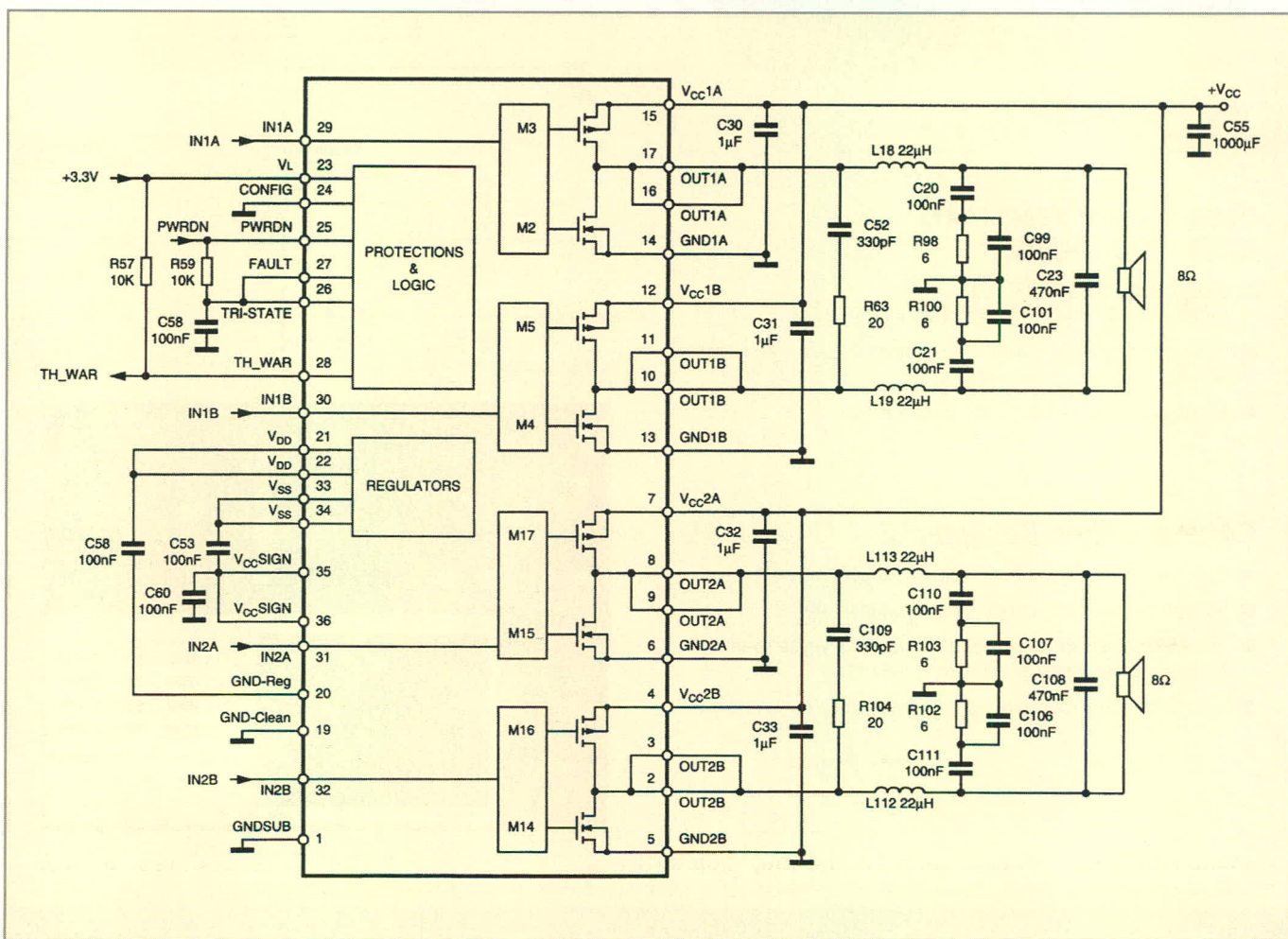


Рис. 8. Типовое включение микросхем STA505/506/508

Типовое включение микросхемы TFA9810 с однополярным источником питания показано на рисунке 6. Параметры выходных ФНЧ даны для сопротивления нагрузки 4 Ом (совпадают с параметрами ФНЧ для микросхем TDA8932/8933). Рекомендованные катушки индуктивности L3 – L6: 8RDY ТОКО А7040HN-220M, 11RHBP ТОКО А7503CY-220M фирмы Токо или 7311NA-220M фирмы Sagami. Параметры помехоподавляющих дросселей L1, L2: сопротивление на постоянном токе менее 0,5 Ом и более 80 Ом на частоте 10 МГц (например, SMD1206 фирмы Würth Elektronik).

В каталоге фирмы STM на 2008 г. представлены микросхемы для ИУ двух групп: усилители в классе D и цифровые усилители, выполненные по технологии DDX. К усилителям в классе D относятся TDA7480-7482, TDA7490 и TDA7491. В группу цифровых усилителей входят STA500/505/506/508/515-518.

Микросхема TDA7490 (2005 г.) является сдвоенным ИУ в классе D, выполнена в корпусе Flexiwatt 25 и предназначена для использования в телевизорах и малогабаритной звуковой

аппаратуре. Структура и типовая схема включения в стереорежиме приведены на рисунке 7. В состав микросхемы входят предварительные аналоговые усилители (PREAMPLIFIER1/2), генераторы треугольного напряжения (INTEGRATOR1/2), ШИМ-модуляторы (PWM-stage1/2) и задающий генератор (OSC). Основные параметры микросхемы приведены в таблице.

Микросхемы STA505 (2003 г.), STA506 (2004 г.) и STA508 (2006 г.) являются счетверёнными мостовыми усилителями (QUAD POWER HALF BRIDGE), выполненными по технологии Multipower BCD Technology в корпусах PowerSO36. На базе микросхем возможно построение высокоэффективных двухканальных ИУ по технологии DDX. Структура и схема включения в двойном мостовом режиме одинаковы для всех трёх микросхем и показаны на рисунке 8. В состав микросхем входят четыре оконечных ключевых каскада на комплементарных МОП-транзисторах (Complementary DMOS), формирователи импульсов с дифференциальными выходами (M2 – M5, M14 – M17), стабилизаторы напряжения (REGULATORS), блок защиты

и логические схемы (PROTECTIONS & LOGIC).

На входы IN1A, IN1B, IN2A, IN2B подаются парафазные ШИМ-сигналы размахом около 0,6 В. Назначение логических функциональных выводов микросхемы: вывод 27 (FAULT), лог. 0 – включена защита от коротких замыканий и перегрева, лог. 1 – защита выключена; вывод 26 (TRI-STATE), лог. 0 – все выходы находятся в состоянии высокого выходного сопротивления, лог. 1 – штатный режим; вывод 25 (PWRDN), лог. 0 – состояние пониженного потребления тока, лог. 1 – штатный режим; вывод 28 (THWAR), лог. 0 – допустимая температура микросхемы до 130°C, лог. 1 – штатный режим; вывод 24 (CONFIG), лог. 0 – штатный режим, лог. 1 – OUT1A/2A=OUT1B/2B, если IN1A/IN2A=IN1B/IN2B. Во всех случаях уровню лог. 1 соответствует 3,3 В. Основные параметры микросхем STA505/506/508 приведены в таблице.

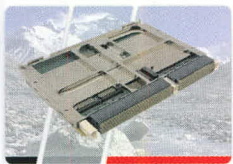
#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.nxp.com>.
2. <http://www.st.com>.
3. Direct Digital Amplification, <http://www.apogeebio.com/ddx>.



## Модули и конструктивы стандартных форматов VPX, VME, CompactPCI, XMC/PMC

для ответственных применений и тяжелых условий эксплуатации



**CURTISS  
WRIGHT** Controls  
Embedded Computing



Одноплатные компьютеры, процессоры ЦОС, графические контроллеры и модули ввода и обработки видеоизображений, контроллеры коммуникационных интерфейсов, модули ввода и обработки высокочастотных аналоговых сигналов, коммутаторы и маршрутизаторы, устройства записи высокоскоростных потоковых данных, бортовые корпуса и готовые специализированные подсистемы.

Реклама

AVD Systems

(499) 148-9677

avdsys@aha.ru

www.avdsys.ru

# Платы и модули Kontron с процессорами Intel Atom

Дмитрий Афонин, Леонид Акиншин (Москва)

Ускоряя выход на рынок, изделия холдинга Kontron на базе процессоров Intel Atom минимизируют риски и способны обеспечить ощутимую экономию на протяжении всего жизненного цикла конечных систем. Данные изделия можно рассматривать как эффективные средства борьбы с кризисом, хотя микроархитектура Intel Atom и не задумывалась как антикризисная мера.

Рост рынка ВКТ (встраиваемых компьютерных технологий) продолжается даже в сегодняшних, непростых экономических условиях. Одной из причин такой «аномалии» являются инновационные разработки и продукты, продвигаемые крупнейшими участниками этого рынка. Например, стандартизированные изделия на базе процессоров Intel Atom позволяют экономить буквально на всём – от разработки программного обеспечения (ПО) до электроэнергии, – что имеет большое значение в условиях ограниченных бюджетов.

Настоящая статья посвящена рассмотрению новейших «атомных» продуктов международного холдинга Kontron ([www.kontron.com](http://www.kontron.com)) – стратегического партнёра компании Intel ([www.intel.com](http://www.intel.com)) в рамках ассоциации Embedded and Communications Alliance и крупнейшего производителя ВКТ с годовым оборотом около 0,5 млрд. евро. Но начать разговор

следует с самой «антикризисной» технологии Intel Atom.

## ГРАФИКА, ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Сегодня при создании продуктов на базе микроархитектуры Intel Atom холдинг Kontron использует три модели процессоров: Intel Atom Z510, Intel Atom Z530 и Intel Atom N270.

Вообще говоря, разработчикам интегресны не столько сами процессоры, сколько комплекты «процессор + набор ИС». Функциональность конечных изделий во многом определяется именно такими комбинациями. В случае Intel Atom это особенно верно, поскольку с «голыми» процессорами и наборами ИС производители плат на базе Intel Atom не работают: компания Intel, стремясь повысить рентабельность, поставляет эти процессоры только в комплекте с другими ИС.

Сравним основные характеристики двух таких наборов: Intel Atom Z530 + Intel SCH US15W и Intel Atom N270 + Intel 945GSE + Intel ICH7M (см. таблицу 1).

Первый комплект, образованный процессором Intel Atom Z530 и системным контроллером-концентратором Intel System Controller Hub (SCH) US15W, имеет площадь 650 мм<sup>2</sup> и характеризуется чрезвычайно низким энергопотреблением. По сравнению с другими экономичными наборами ИС, контроллер-концентратор Intel SCH US15W, размеры которого составляют 22 × 22 мм, занимает почти в семь раз меньше места и потребляет примерно в десять раз меньше электроэнергии. Тепловой пакет (Thermal Design Power, TDP) комбинации Intel Atom Z530 + Intel System Controller Hub (SCH) US15W составляет всего 4,5 Вт, что является самым низким показателем для всех существующих x86-совместимых решений. Частота ЦП составляет 1,6 ГГц, частота системной шины – 533 МГц.

Интерфейсная функциональность набора Intel Atom Z530 + Intel SCH US15W представлена портами LDVS, SDVO, ATA и USB 2.0 (8 шт.). Производительность данного комплекта в тесте 3DMark05 составляет 115 единиц, оптимизация позволяет поднять этот показатель до 150 единиц, Интегрирован-

Таблица 1. Сравнение комплектов Intel Atom Z530 + Intel SCH US15W и Intel Atom N270 + Intel 945GSE + Intel ICH7M

Набор	Процессор Intel Atom Z530 + системный контроллер-концентратор Intel SCH US15W	Процессор Intel Atom N270 + набор ИС Intel 945GSE + Intel ICH7M
Процессорное ядро	Silverthorn	Diamondville
Тепловой пакет, Вт	4,5	8
Занимаемая площадь, мм <sup>2</sup>	650	2200
Частота процессора, ГГц	1,6	1,6
Частота системной шины, МГц	533	533
Поддержка Hyper-Threading	Есть	Есть
Тип ОЗУ	DDR2 400/533	DDR2 533
Порты PCI Express×1, шт.	2	4
Порты Serial ATA, шт.	Нет	2
Поддержка Parallel ATA	Нет	Есть
Порты USB 2.0, шт.	8, в т.ч. 1 с клиентской функциональностью	8
Шина SPI	Нет	Есть
Поддержка PCI-устройств	Нет	До 4 устройств
Контроллер локальной сети	Нет	Fast Ethernet
Производительность в тесте 3DMark05	115 ед. (до 150 при оптимизации)	250 ед.
Особенности видеоподсистемы	Аппаратное ускорение декодирования видео в форматах MPEG2, MPEG4, H.264, WMV9 и VC1	Аппаратное ускорение воспроизведения видео высокого разрешения
Материал печатной платы	HDI (Type 4)	Type 3

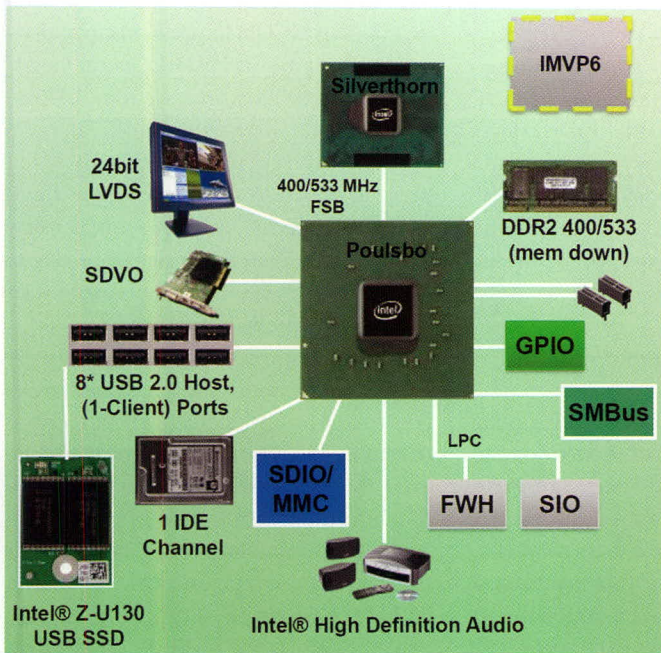


Рис. 1. Блок-схема комплекта Intel Atom Z530 + Intel SCH US15W

ное графическое ядро обеспечивает аппаратное ускорение декодирования видео в форматах MPEG2, MPEG4, H.264, WMV9 и VC1. Набор из процессора Intel Atom Z530 и Intel SCH US15W поддерживает 400/533-мегагерцовую память DDR2 и может быть реализован на платах из материала Type 4. Блок-схема комплекта Intel Atom Z530 + Intel SCH US15W изображена на рисунке 1.

Второй набор, состоящий из процессора Intel Atom N270 и микросхем Intel 945GSE + Intel ICH7M, занимает площадь 2200 мм<sup>2</sup> и основан на 1,6-гигагерцовом ЦП с поддержкой 533-мегагерцовой системной шины. Большие размеры и энергопотребление данной комбинации (её TDP около 8 Вт) компенсируется высокой графической производительностью, которую обеспечивает интегрированное графическое ядро: в тесте 3DMark05 комплект Intel Atom N270 + Intel 945GSE + Intel ICH7M показывает 250 условных единиц, т.е. приблизительно вдвое выше, чем комплект на базе процессора Intel Atom Z530. У набора Intel Atom N270 + 945GSE + ICH7M графические интерфейсы LVDS и SDVO дополнены выходом VGA.

Полезной особенностью видеоподсистемы Intel 945GSE является аппаратное ускорение воспроизведения видео высокого разрешения (HD). К числу других достоинств рассматриваемого комплекта относятся интегрированная поддержка накопителей Serial ATA (два порта), наличие шины SPI, шины PCI и контроллера Fast Ethernet. Подсистема ввода-вывода данного набора включает четыре порта PCI Express × 1 и восемь

портов USB 2.0. Поддерживается память DDR2, работающая на частоте 533 МГц; рекомендованным материалом печатной платы является Type 3. Блок-схема комплекта Intel Atom N270 + Intel 945GSE + Intel ICH7M изображена на рисунке 2.

Очевидно, что первый набор, состоящий из процессора Intel Atom Z530 и микросхем Intel SCH US15W, как нельзя лучше подходит для использования в сверхмалогобаритных продуктах с чрезвычайно низким энергопотреблением: для архитектуры x86 эта комбинация является абсолютным рекордсменом по экономии как площади печатной платы, так и электроэнергии. Её целевыми областями применения являются сверхмалопотребляющие встраиваемые системы, в т.ч. мобильные и автономные (беспилотные летательные аппараты и др.).

Второй комплект – это другая сторона «медали» под названием Intel Atom. Смысловым центром данной комбинации является высокопроизводительное графическое ядро, входящее в состав набора микросхем Intel 945GSE. Во-первых, это ядро служит оправданием более высокого энергопотребления (которое, впрочем, продолжает оставаться весьма небольшим по сравнению с абсолютным большинством существующих x86-решений). Во-вторых, оно предполагает наличие в системе дисплея таких размеров, которые позволили бы различать все нюансы высококачественной графики. Таким образом, область применения комплекта, включающего процессор Intel Atom N270 и «полноценный» набор ИС Intel 945GSE + Intel ICH7M, оказывается несколько иной: это мобиль-

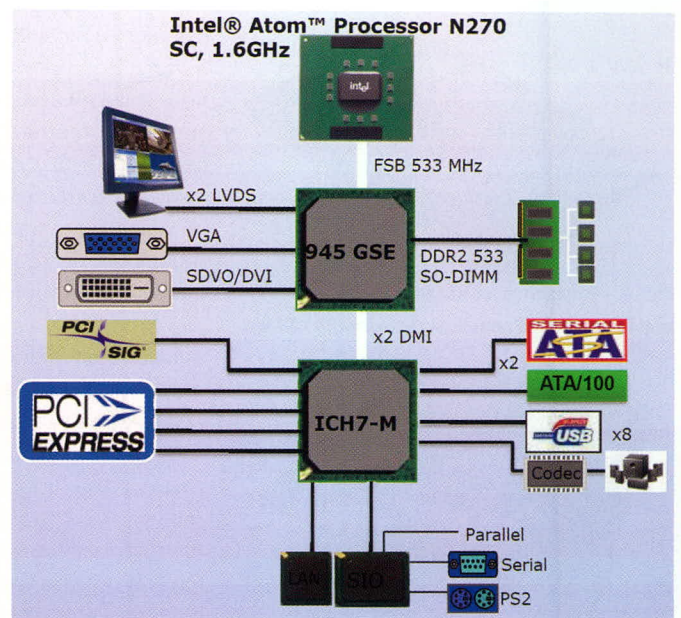


Рис. 2. Основные функциональные блоки комплекта Intel Atom N270 + Intel 945GSE + Intel ICH7M

ные и встраиваемые продукты, для которых важна развитая визуализация при низком энергопотреблении (субноутбуки и нетбуки, другие мобильные компьютеры типа UMPC и UMD и т.п.).

Общей чертой этих наборов является их полная и безусловная совместимость со всем существующим программным обеспечением для микроархитектуры x86, что является определённым преимуществом микроархитектуры Intel Atom в конкурентной борьбе с устройствами ARM и другими RISC-процессорами, имеющими близкие размеры и энергопотребление.

Наборы обоих типов поддерживают двухдисплейную визуализацию и успешно используются холдингом Kontron при создании самых различных встраиваемых продуктов уровня плат.

### Модуль Kontron nanoETXexpress-SP: x86-совместимый процессор на модуле размерами с визитку

Спецификация nanoETXexpress, которой удовлетворяет изделие nanoETXexpress-SP, является совместимым подмножеством стандарта COM Express консорциума PICMG и определяет миниатюрные COM-модули, габариты которых составляют всего 55 × 84 мм. Своим появлением nanoETXexpress-SP создало важный прецедент: x86-совместимый процессор такого уровня впервые был успешно установлен на плату размерами с визитку (см. рис. 3).

Модуль Kontron nanoETXexpress-SP полностью совместим со стандартом

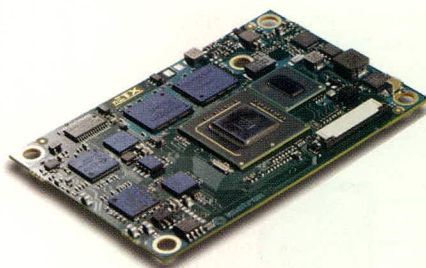


Рис. 3. «Компьютер-на-модуле» Kontron nanoETXexpress-SP, имеющий размеры 55 × 84 мм

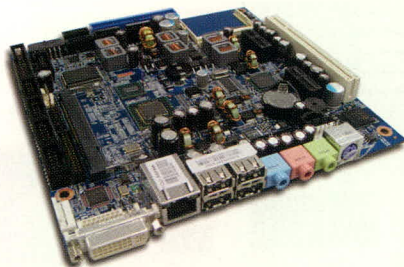


Рис. 4. Материнская плата Kontron KTUS15-mITX, выполненная в форм-факторе Mini-ITX

COM Express по разъёму COM.0 Type 1. Тактовая частота процессора Intel Atom Z5xx, которым оснащается модуль nanoETXexpress-SP, варьируется в пределах от 1,1 до 1,6 ГГц, объём установленной системной памяти типа DDR2 400/533 может достигать 1 Гб; при этом полное энергопотребление ЦП и системного контроллера-концентратора Intel SCH US15W, на базе которого выполнен данный продукт, не превышает 5 Вт.

Стандартная комплектация модуля включает загрузочный флэш-диск объёмом 2 Гб. В разъём COM Express Type 1 выведены порт Gigabit Ethernet, канал Serial ATA, восемь портов USB 2.0 и шина PCI Express x1. По заказу возможна организация дополнительных линий PCI Express, а также подключение внешнего моста, сопрягающего шины PCI Express и PCI. На базе контактов разъёма COM Express для линий GPIO реализована поддержка различных интерфейсных технологий серии SD/SDIO (SD, miniSD, MMC и DE-ATA). Вideoподсистема включает 18/24-разрядный канал LVDS и графическую память объёмом 256 Мб.

Программная поддержка Kontron nanoETXexpress-SP включает операционные системы Linux, Windows XP, Windows XP Embedded, Windows CE, а также OCPB VxWorks и QNX. Благодаря малым габаритам и энергопотреблению, совместимости с ПО для микроархитектуры x86 и доступности как популярных ОС общего назначения, так и классических OCPB, модуль Kontron nanoETXexpress-SP может рассматриваться в качестве универсального решения для создания встраиваемой и ультрамобильной техники сле-

дующего поколения. Это могут быть различные носимые устройства медицинского назначения, портативная мультимедийная техника, компактные системы для работы с данными и множество других устройств, которые ранее не могли появиться на рынке из-за ограничений, связанных с энергопотреблением и размерами комплектующих.

#### Технология мгновенной загрузки Fastboot

Функция QNX Fastboot, реализованная в OCPB QNX Neutrino, позволяет создавать системы с временем загрузки, стремящимся к нулю. На x86-совместимых платформах данная технология устраняет необходимость в традиционной BIOS, заменяя её специализированной процедурой ранней инициализации периферийных устройств, что даёт выигрыш в производительности, удешевляет конечные решения и позволяет им загружаться практически мгновенно. Продукты с поддержкой QNX Fastboot имеют отличные перспективы, поскольку минимизация времени загрузки является актуальной задачей для разработчиков различных промышленных, медицинских, оборонных и потребительских приложений. Одним из первых реальных изделий с доступной функцией QNX Fastboot стал сверхмалогобаритный «компьютер-на-модуле» nanoETXexpress-SD международного холдинга Kontron.

Используя серийный модуль nanoETXexpress-SD и технологию QNX Fastboot, специалисты российских компаний SWD Software ([www.swd.ru](http://www.swd.ru)) и «РТСофт» ([www.rtsoft.ru](http://www.rtsoft.ru)) создали законченную аппаратно-программную платформу, работающую под управлением OCPB QNX Neutrino. Данная платформа, адресованная разработчикам высоконадёжных сверхмалогобаритных систем, обладает уникальным набором характеристик, совмещающая в себе исключительно малые размеры, наличие шины PCI Express, полную поддержку системы команд x86, энергопотребление на уровне ARM-устройств и выигрыш в производительности путём замены BIOS на специализированную процедуру ранней инициализации периферийных устройств.

#### КОНТРОН MICROETXEXPRESS-SP: МИНИАТЮРНЫЙ X86-СОВМЕСТИМЫЙ МОДУЛЬ С ПОДДЕРЖКОЙ СТАНДАРТА COM EXPRESS

Как и nanoETXexpress, форм-фактор microETXexpress является расширени-

ем стандарта COM Express международного консорциума PICMG. Основное отличие microETXexpress от nanoETXexpress состоит в том, что microETXexpress совместим со спецификацией COM Express по разъёму COM Express Type 2, в то время как nanoETXexpress – по разъёму COM Express Type 1. Кроме того, модули microETXexpress имеют несколько большие размеры (95 × 95 мм).

Модуль Kontron microETXexpress-SP построен на системном контроллере-концентраторе Intel SCH US15W. Различные модификации Kontron microETXexpress-SP оснащаются процессорами серии Intel Atom Z5xx с тактовой частотой до 1,6 ГГц. В наличии есть шины PCI и PCI Express, интерфейсы SDVO/HDMI, DVI, LVDS (одноканальный 16/24 разрядный). «Компьютер-на-модуле» Kontron microETXexpress-PC сохраняет 100% совместимость со спецификацией COM Express по физическому расположению и назначению контактов разъёма COM Express Type 2, куда выведены интерфейсы Gigabit Ethernet, Serial ATA (2 шт.), LVDS и USB 2.0 (8 шт.). Благодаря этому, разработчики, полагающиеся на популярную технологию COM Express, могут использовать Kontron microETXexpress-SP для быстрого создания уменьшенных версий своих продуктов и новых решений на базе существующих наработок.

Для Kontron microETXexpress-SP доступны операционные системы Windows XP, Windows XP Embedded, Windows CE, Linux и OCPB VxWorks. На базе этого «компьютера-на-модуле» можно создавать небольшие мультимедийные устройства с длительным временем работы от батарей, а также мобильную контрольно-измерительную технику.

#### КОНТРОН KTUS15/mITX: МИНИАТЮРНАЯ ATX-ПОДОБНАЯ МАТЕРИНСКАЯ ПЛАТА ДЛЯ ЦП С СИСТЕМОЙ КОМАНД X86

Материнская плата Kontron KTUS15/mITX реализована в конструктиве Mini-ITX на базе интегрированного набора ИС Intel SCH US15W и рассчитана на процессоры Intel Atom Z5xx с тактовыми частотами до 1,6 ГГц (см. рис. 4).

Будучи ATX-совместимым решением, плата Kontron KTUS15/mITX имеет размеры 170 × 170 мм и высоту двух портов USB (20 мм), при этом на ней остаётся достаточно места для размещения флэш-накопителя CompactFlash объёмом до 32 Гб.

Плата Kontron KTUS15/mITX характеризуется повышенной механической

надёжностью, имеет защитный модуль Trusted Platform Module (TPM) 1.2, поддерживает напряжения питания в диапазоне от 5 до 25 В и хорошо сопрягается с другим оборудованием. Разъёмы SDIO позволяют подсоединять к плате такие устройства, как лазерные и RFID-сканеры, считыватели карт, различные клавиатуры, мыши, принтеры, модули беспроводных локальных и сотовых сетей. Дополнительную прикладную функциональность можно реализовывать на базе разъёмов PCI Express × 1 и PCI. Для подключения дисплеев доступны выход VGA и двухканальный интерфейс LVDS, а также заказные порты DVI и HDMI; взаимодействие с дисковыми накопителями обеспечивается двумя каналами Serial ATA 150/300 и одним каналом ATA 100. Интерфейсная подсистема платы Kontron KTUS15/mITX включает также восемь портов USB 2.0, порты RS232 (штатно 2 шт., по заказу до 4 шт.), двунаправленный интерфейс LPT, разъём PS/2, порт Gigabit Ethernet и многоканальный звук AC97.

Материнская плата Kontron KTUS15/mITX работает под управлением операционных систем Windows XP, Windows Vista, Windows CE и Linux. Поскольку суммарный тепловой пакет системного контроллера-концентратора Intel SCH US15W и процессора Intel Atom Z5xx не превышает 5 Вт, изделие Kontron KTUS15/mITX можно рекомендовать разработчикам систем с питанием от аккумуляторных или солнечных батарей. Материнская плата Kontron KTUS15/mITX является чрезвычайно гибким продуктом, ускоряющим выход изделий на рынок, и подходит для создания разнообразных встраиваемых систем, начиная с кассовых аппаратов, информационных терминалов и киосков и заканчивая медицинской диагностической аппаратурой (ультразвуковые сканеры и др.), мультимедийной техникой, мобильными компьютерами и средствами промышленной автоматизации. Для отдельных версий платы Kontron KTUS15/mITX холдинг Kontron гарантирует доступность в течение 7 лет, что позволяет использовать их в долгосрочных проектах.

### **KONTRON ETX-DC: ВЫСОЧАЙШАЯ УДЕЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В КОНСТРУКТИВЕ ETX**

Процессоры Intel Atom нашли применение, в том числе, и в «классических» полноразмерных COM-модулях

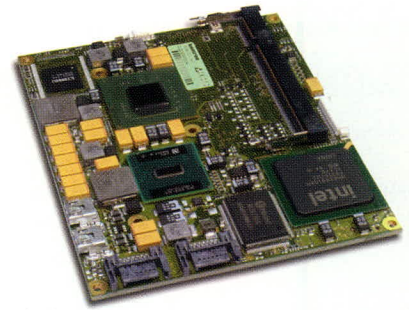
холдинга Kontron. Первым подобным продуктом стал Kontron ETX-DC, выполненный по стандарту ETX 3.0 (размеры 95 × 114 мм) (см. рис. 5).

Модуль Kontron ETX-DC демонстрирует самую высокую производительность на ватт потребляемой мощности среди всех изделий формата ETX. Тепловой пакет процессора Intel Atom N270 составляет 2,5 Вт, контроллера графической памяти Intel 82945GSE – 6 Вт, а контроллера ввода-вывода Intel I/O Controller Hub 7-M (ICH7-M) – 1,5 Вт. Максимальное энергопотребление всего модуля Kontron ETX-DC не превышает 12...15 Вт, что позволяет использовать его при создании кассовых терминалов, в промышленных приложениях и других задачах, где требуются герметичные корпуса, пассивное охлаждение, большая средняя наработка на отказ и хорошая электромагнитная совместимость.

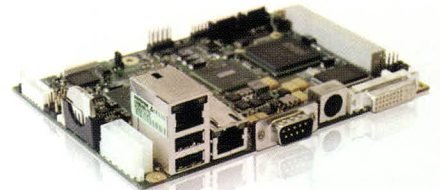
Кроме того, Kontron ETX-DC является ETX-модулем с наилучшим соотношением «цена – производительность», что придаёт ему дополнительную привлекательность в глазах разработчиков. Ещё одним преимуществом данного продукта является изначальное наличие интерфейсов Serial ATA и USB 2.0 (спецификация ETX 3.0).

Процессор Intel Atom N270, на базе которого выполнен «компьютер-на-модуле» Kontron ETX-DC, работает на частоте 1,6 ГГц и поддерживает 533-мегагерцовую системную шину. Объём бортового ОЗУ типа DDR2 SO-DIMM может достигать 2 Гб. Наряду с физическими портами USB 2.0 и Serial ATA II (спецификация Advanced Host Controller Interface, AHCI), у модуля есть шины PCI, ISA, LPC и все прочие интерфейсы, определённые в стандарте ETX 3.0. Шины ISA и LPC ориентированы соответственно на унаследованные и на новые приложения, где достаточно внутрисистемной пропускной способности шины ISA. Интегрированный графический контроллер поддерживает интерфейс SDVO и независимую двухдисплейную визуализацию. В наличии также имеются звуковой контроллер HAD и защитный модуль TPM 1.2 (по заказу).

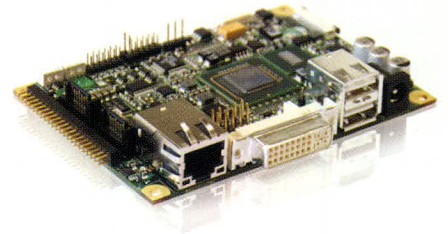
Программная поддержка модуля Kontron ETX-DC включает операционные системы Windows Vista, Windows XP, Windows XP Embedded, Windows CE и Linux, а также OCPB VxWorks. Продукт адресован разработчикам торговых терминалов, киосков, систем типа Digital Signage, информационно-развлекательного и игрового оборудования.



**Рис. 5. Модуль Kontron ETX-DC, выполненный в «классическом» конструктиве ETX на базе процессора Intel Atom**



**Рис. 6. Одноплатный 3,5-дюймовый компьютер Kontron JRexplus**



**Рис. 7. Материнская плата Kontron pITX-SP, имеющая размеры 100 × 72 мм и рассчитанная на установку процессоров Intel Atom**

### **KONTRON JRexplus-DC: 3,5-дюймовый одноплатный компьютер с интерфейсом расширения PCI-104 на базе перспективного ЦП**

Очередным представителем линейки 3,5-дюймовых (102 × 147 мм) встраиваемых одноплатных компьютеров Kontron JRexplus стал продукт Kontron JRexplus-DC, построенный на базе процессора Intel Atom N270 и поддерживающий модули расширения PCI-104 (см. рис. 6).

Все продукты серии Kontron JRexplus имеют одинаковое расположение разъёмов передней панели, что упрощает и ускоряет процесс разработки. Другим важным достоинством продукта Kontron JRexplus-DC является наличие интерфейса PCI-104, который позволяет ориентировать конечную систему на конкретные задачи. Изделия, образующие семейство Kontron JRexplus-DC, нацелены на те же рынки, что и обычные процессорные модули PCI-104, но имеют большую площадь, большее число интерфейсов, позволяют эффективнее использовать возможности набора ИС и способствуют уменьшению числа внутрисистемных кабелей. Данное изделие

Таблица 2. Классификация продуктов холдинга Kontron по основным параметрам

Продукт	Тип платы	Комплект «процессор + набор ИС»	Увеличенный жизненный цикл	Примечания
Kontron nanoETXexpress-SP	«Компьютер-на-модуле»	Intel Atom Z5xx + SCH US15W		Исключительно малые размеры и энергопотребление, поддержка технологии мгновенной загрузки QNX Fastboot
microETXexpress-SP	«Компьютер-на-модуле»	Intel Atom Z5xx + SCH US15W		
KTUS15/mITX	Материнская плата	Intel Atom Z5xx + SCH US15W	+	
ETX-DC	«Компьютер-на-модуле»	Intel Atom N270 + 945GSE + ICH7M	+	Перспективный форм-фактор для ETX-систем
JRexplus-DC	Одноплатный компьютер	Intel Atom N270 + 945GSE + ICH7M		Новый продукт
pITX-SP	Материнская плата <sup>1</sup>	Intel Atom Z5xx + SCH US15W	+	Новый продукт

позволяет получить высокую производительность по сравнительно низкой цене и рассчитано на построение гибких систем с очень низким профилем. Потребляя всего 10 Вт, одноплатный компьютер Kontron JRexplus-DC может выручить в тех ситуациях, когда в ограниченном пространстве необходимо получить более высокую производительность при небольшом энергопотреблении.

Плата Kontron JRexplus-DC имеет гнездо SO-DIMM, куда может быть установлено до 1 Гб памяти DDR2, и установленный набор ИС Intel 945GSE Express + Intel ICH7M. Богатая интерфейсная функциональность включает порты Gigabit Ethernet и Fast Ethernet, два канала Serial ATA, канал ATA, шесть портов USB 2.0 (два на передней панели), два интерфейса RS232, порты LPT, FDD и PS/2, четыре линии GPIO, разъём CompactFlash на обратной стороне, комбинированный выход DVI-I и двухканальный LVDS-интерфейс JLI30. Последний очень удобен для организации вывода на ЖК-дисплеи различных типов, поскольку холдинг Kontron предлагает широкий ассортимент необходимых кабелей и адаптеры LVDStoTTL для панелей с матрицами TPL. Доступен для заказа модуль, реализующий технологию аппаратной защиты TPM 1.2, а также кабель и адаптер для ATX-совместимого разъёма питания, установленно-го на плате.

Одноплатный 3,5-дюймовый компьютер Kontron JRexplus-DC работает под управлением операционных систем Windows Vista, Windows XP, Windows XP Embedded, Windows CE и Linux. Главными целевыми рынками данного продукта являются игровые автоматы, системы типа Digital Signage, киоски, информационные и кассовые терминалы.

### **KONTRON pITX-SP: УЛЬТРАМИНИАТЮРНАЯ МАТЕРИНСКАЯ ПЛАТА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОРОВ**

Свое первое изделие с увеличенным жизненным циклом, реализованное в новом форм-факторе Pico-ITX, холдинг Kontron назвал pITX-SP (см. рис. 7). Спецификацию Pico-ITX, определяющую материнские платы размерами 100×72 мм, развивает созданный в 2008 г. независимый консорциум SFF-SIG (Small Form Factor Special Interest Group) ([www.sff-sig.org](http://www.sff-sig.org)). Холдинг Kontron стал одним из первых крупных производителей, взявших на вооружение этот новый стандарт ВКТ.

Плата Kontron pITX-SP построена на системном контроллере-концентраторе Intel US15W, предназначена для процессоров серии Intel Atom Z5xx с тактовой частотой до 1,6 ГГц, потребляет не более 5 Вт и обладает весьма достойными коммуникационными возможностями. Это позволяет говорить о новом продукте холдинга Kontron как о перспективном решении для создания недорогих сверхмалогабаритных x86-совместимых встраиваемых систем и ультрамобильных устройств.

Материнская плата Kontron pITX-SP может иметь до 1 Гб ОЗУ типа DDR2. Интерфейсная подсистема образована портом Gigabit Ethernet, четырьмя портами USB 2.0, каналами Serial ATA (до 2 шт.), каналом Parallel ATA, разъёмом для установки накопителей microSD, выходом DVI-D и LVDS-интерфейсом JLI30, который обеспечивает возможность подключения плоских панелей практически всех существующих типов. Объём поддерживаемой видеопамяти составляет 256 Мб, имеется интегрированный звуковой контроллер HDA, доступен для заказа защитный модуль TPM 1.2. Пользователь-

ские функции могут быть реализованы на базе интерфейса SDIO и линий цифрового ввода-вывода (4 бита).

Для ультраминиатюрной материнской платы Kontron pITX-SP доступны операционные системы Windows Vista, Windows XP, Windows XP Embedded и Linux. Совокупность характеристик данного продукта позволяет рекомендовать его к применению в таких сегментах, где требуются комплектующие как можно меньших размеров по разумной цене. В частности, материнская плата Kontron pITX-SP может рассматриваться как альтернатива RISC-решениям, способная ускорять и удешевлять разработку различных карманных устройств и другой мобильной техники.

### **ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ**

«Атомное» предложение холдинга Kontron охватывает три разные архитектурные группы. Изделия nanoETXexpress-SP, microETXexpress-SP и ETX-DC относятся к «компьютерам-на-модуле», изделия KTUS15/mITX и pITX-SP являются «материнскими платами», а модуль JRexplus-DC – одноплатным компьютером<sup>1</sup> (см. таблицу 2).

Другим критерием классификации может служить комбинация «процессор + набор ИС». По этому признаку продукты можно разделить на две группы: 1) nanoETXexpress-SP, microETXexpress-SP, pITX-SP и Kontron KTUS15/mITX и 2) ETX-DC и JRexplus-DC. Представители первой группы строятся на базе конфигураций типа «процессор Intel Atom Z5xx + системный контроллер – концентратор Intel SCH US15W», второй группы – на базе наборов «процессор Intel Atom N270 + графический контроллер-концентратор Intel 945GSE Express + контроллер ввода-вывода графической памяти Intel ICH7M».

<sup>1</sup> В силу исключительно малых размеров продукта pITX-SP холдинг Kontron включает его в категорию «2,5-дюймовых одноплатных компьютеров», хотя формально это изделие является материнской платой.

**КРИЗИС РАЗВИТИЮ НЕ ПОМЕХА**

Темпы роста мирового рынка ВКТ в долгосрочной перспективе оцениваются экспертами аналитического агентства Venture Development Corporation (VDC; [www.vdcresearch.com](http://www.vdcresearch.com)) на уровне 10% в год. В кризисный период 2009 – 2010 гг. объёмы продаж ВКТ-продуктов могут несколько сократиться, однако доля продуктов на основе открытых стандартов и технологий увеличится, а по ряду перспективных направлений будет наблюдаться совершенно нехарактерный для кризиса рост на десятки процентов в год. Одним из подобных направлений являются «компьютеры-на-модуле», совместимые с открытым стандартом COM Express Type 1. Аналитики VDC полагают, что в 2010 г. спрос на такие продукты вырастет на 70% (!).

Благодаря стандартизованным форматам, высокой степени интеграции, поддержке модулей расширения популярных типов, полной программной совместимости с архитектурой x86, возможности двухдисплейной визуализации и малому энергопотреблению изделия холдинга Kontron на базе процессоров Intel Atom несут в себе антирисковый, антикризисный и инновационный потенциал.

Изделия холдинга Kontron, рассмотренные в настоящей статье, позволяют расти и развиваться в условиях кризиса, т.е. расширять бизнес и выпускать инновационные конечные решения на базе инновационных процессоров. В этой связи следует особо отметить продукт nanoETXexpress-SP, обеспечивающий разумный баланс между новым и старым. С одной стороны, модуль nanoETXexpress-SP позволяет воплотить в жизнь устройства и системы совершенно новых типов, с другой – этот же самый модуль обеспечивает надежную защиту инвестиций заказчиков за счёт совместимости с ПО для архитектуры x86 и популярным международным стандартом COM Express.

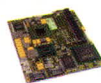
В настоящее время холдинг Kontron является обладателем самого богатого ассортимента серийно выпускаемых изделий на базе процессоров Intel Atom. Обратившись к «атомному» ассортименту холдинга Kontron, вы сможете найти в нём плату или модуль, который не только подойдёт для вашей конкретной задачи, но и обеспечит ощутимую экономию на протяжении всего жизненного цикла вашей системы. ©



**Мир состоит из Атомов...**

**«КОМПЬЮТЕРЫ НА МОДУЛЯХ»**

nanoETXexpress-SP



ETX-DC



microETXexpress-SP

**ОДНОПЛАТНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ**

JRExplus DC



pITX-SP

**МАТЕРИНСКИЕ ПЛАТЫ**

KTUS15 mITX



**Широкий спектр энергоэффективных малогабаритных встраиваемых платформ для разработчиков на процессоре Intel Atom Diamondville и Silverthorne с энергопотреблением от 6 до 12 Вт.**

- Низкое энергопотребление при адекватной производительности 45-нм процессора Intel Atom серий N27x и Z5xx
- Чрезвычайно высокая степень интеграции при функциональности ПК
- Современные интерфейсы: PCI Express, GB Ethernet, USB 2.0, SATA и др
- Совместимость с огромным спектром ПО для x86 платформ: Windows/Windows Embedded, Linux, QNX, LynxOS, VxWorks и иные ОСРВ (опция)
- Длительный жизненный цикл от 5-7 лет
- Соответствие открытым стандартам COM Express, pico-ITX, mITX и др
- Профессиональный инженерный консалтинг и техническая поддержка



СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Используйте готовые комплекты разработчиков! Экономьте время и деньги.

Москва, Никитинская 3, ЗАО «РТСофт»  
тел.: (495) 742-6828, 976-1505  
факс: (495) 742-6829  
e-mail: [rtsoft@rtsoft.ru](mailto:rtsoft@rtsoft.ru); [www.rtsoft.ru](http://www.rtsoft.ru)

# SMD-светодиоды REFOND

Иван Сыроваткин (Воронеж)

В статье приводится краткий обзор светодиодов поверхностного монтажа производства компании REFOND.

В последние годы рынок светодиодной продукции растёт быстрыми темпами. Это обусловлено тем, что светодиоды гораздо долговечнее и практичнее традиционных ламп накаливания. Полупроводниковые источники света сейчас можно найти практически в любом радиоэлектронном изделии.

Как правило, в бытовой технике применяются светодиоды для поверхностного монтажа, или SMD-светодиоды. На российском рынке сегодня присутствует множество азиатских производителей светодиодов, которые предлагают продукцию различного типа, качества и стоимости. Компания REFOND является крупнейшим производителем SMD-светодиодов в Китае и, благодаря привлекательному балансу цены и качества выпускаемой продукции, занимает лидирующие позиции на этом рынке. Крупнейшие производители радиоэлектронной аппаратуры в своих изделиях применяют компоненты этой компании.

Компания REFOND была основана в 2000 г. С первого дня её основной целью было создание высококачественных и экологически безопасных светодиодов. В производстве используется самое передовое оборудование и технологии изготовления светодиодов. Стоит отметить и высокую культуру производства, – в компании ей уделяют особое внимание.

Основным направлением деятельности компании является разработка и производство SMD-светодиодов. В настоящее время выпускаются светодиоды в корпусах 0603, 0805, 1206, 3528 и PLCC-6. Корпуса серии 3528 и PLCC-6 имеют важное конструктивное отличие от аналогичных продуктов на нашем рынке – в качестве материала линзы, взамен привычных эпоксидных смол, используется силикон. Новый материал более устойчив к циклическим перепадам температур и в течение всего срока службы светодиода не теряет прозрачности.

Самые массовые изделия фирмы на сегодняшний день – это свето-

диоды в корпусе 3528. Они применяются для изготовления светодиодных лент, световых панно и в светодиодных экранах. Светодиоды серии RF-WNRA30-EE-Z имеют встроенный стабилитрон, благодаря чему данная серия нашла широкое применение при изготовлении элементов подсветки в приборных панелях автомобилей. В бортовой сети автомобилей присутствует много помех, которые могут вывести светодиод из строя. Стабилитрон обеспечивает защиту от такого рода воздействий.

В начале второго квартала 2009 г. компания начала выпуск однокристалльного светодиода RF-WNRA30DS-FF (см. рис. 1). Его главной особенностью является световой поток 7 лм при типовом значении тока на кристалл 20 мА; на сегодняшний день это один из лучших показателей среди SMD-светодиодов всех мировых производителей. При производстве используются высококачественные кристаллы компании EPISTAR. После 3 тыс. ч непрерывной работы световой поток нового диода падает всего на 3%. Таким образом, за 50 000 ч световой поток снизится на 50%. Для светодиодов в столь малом корпусе и с начальным по-

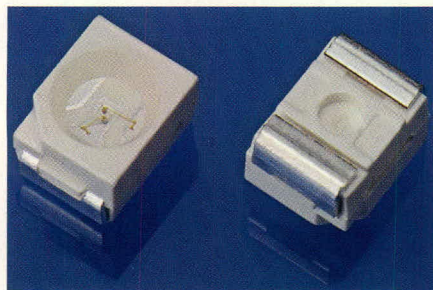


Рис. 1. Светодиод RF-WNRA30DS-FF

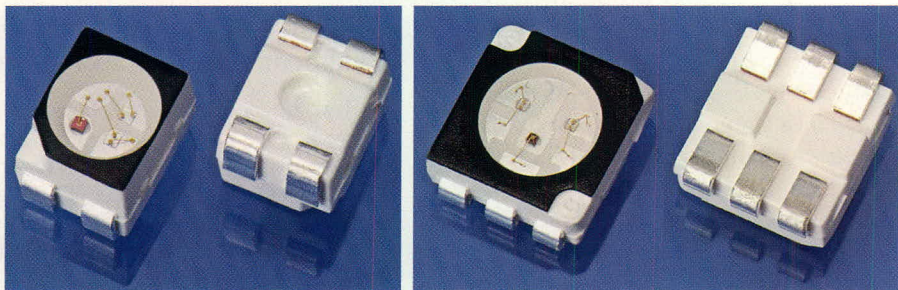
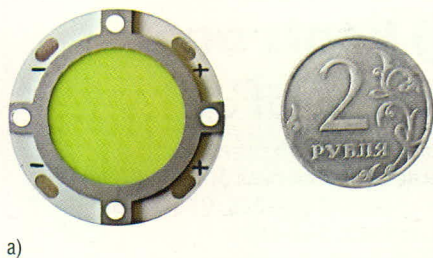
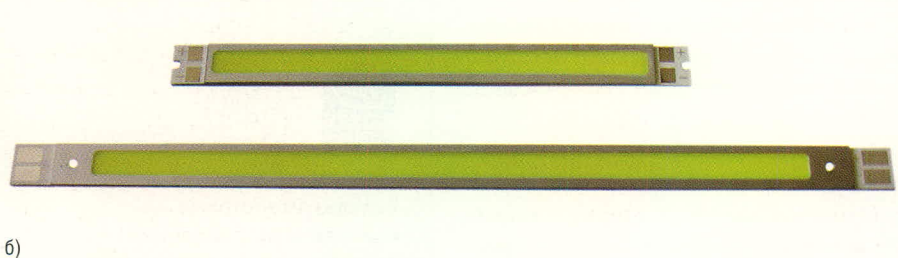


Рис. 2. Светодиоды серии SA30 и SA50



а)



б)

Рис. 3. Светодиодные модули REFOND

а) серия RF-WNCD32DS-5W; б) серии RF-WNL120DS-5W и RF-WNL200DS-10W(1)

Таблица 1. Характеристики RGB-светодиодов REFOND

Наименование	Сила света, мкд	Длина волны, нм	Угол, град	Размер корпуса, мм
RF-W2SA30BS-A40	240/750/250	625/525/470	120	3,5 × 2,8 × 1,9
RF-W2SA50TS-A36	500/850/350	625/520/470	140	5,0 × 5,3 × 1,6

Таблица 2. Основные характеристики 5- и 10-Вт светодиодных модулей

Наименование	Цветовая температура, К	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Ток, А	Угол, град	Тепловое сопротивление, °С/Вт	Размеры, мм
RF-WNCD32DS-5W	5400	320	5	0,5	140	8	Диаметр 32
RF-WNL120DS-5W	5400	390	5	0,5	140	8	120 × 10
RF-WNL200DS-10W(1)	5400	650	10	1	140	8	200 × 10

током 7 лм – весьма достойный показатель.

Помимо одноцветных светодиодов в корпусе 3528, компания REFOND выпускает светодиоды, разработанные специально для производства дисплеев. На лицевой стороне RGB-светодиодов серий SA30 и SA50 (см. рис. 2) нанесено чёрное покрытие, что делает изображение на экране более контрастным.

В таблице 1 приведены краткие технические характеристики полноцветных SMD-светодиодов REFOND при токе 20 мА на кристалл.

Помимо корпусов 3528 и 5050, выпускаются светодиоды с типоразмерами 0603 (1,6 × 0,8 мм), 0805 (2,0 × 1,25 мм) и 1206 (3,2 × 1,6 мм); угол рассеивания для этих типов корпусов составляет 140°.

С начала 2009 г. компания начала осваивать новое для себя направление – изготовление светодиодных модулей (см. рис. 3). Конструктивно новое изделие представляет собой алюминиевую пластину с установленными на неё кристаллами, соединёнными по смешанной схеме включения. Верхняя поверхность кристаллов залита светопрозрачным силиконом, который защищает их от механического воздействия.

Светодиодные модули имеют широкий спектр применения – от настольных ламп до светильников. Если сравнивать новинку со светодиодами, то 10-ваттные модули серии RF-WNL200DS-10W(1) по световой эффективности практически идентич-

ны десяти 1-Вт светодиодам. Но в то же время они обладают важным преимуществом: кристаллы установлены на алюминиевый теплоотвод, который отлично передаёт тепло на плату или шасси. В корпусе модулей есть крепёжные отверстия, что значительно упрощает процесс установки изделия на внешний радиатор. В таблице 2 приведены характеристики 5- и 10-Вт модулей. Для более эффективного отвода тепла между алюминиевым основанием модуля и основным радиатором необходимо наносить слой теплопроводящей пасты.

По прогнозам аналитиков, в 2009 – 2012 гг. основной пик спроса придётся именно на светодиоды, ориентированные на применение в осветительных системах. Именно на эту область и рассчитаны новые модули компании REFOND. Что касается SMD-светодиодов, то сейчас в России наблюдается некоторый рост радиоэлектронной промышленности. Поскольку собственные светодиоды подобного типа у нас не производятся, именно эту нишу последние три года занимает компания REFOND. ©

## Светодиодные кластеры NeoSvet



Мы освещаем ваш успех!

### Светодиодные кластеры NeoSvet на базе светодиодных ламп Cree

#### Преимущества изделий NeoSvet:

- высокая эффективность;
- низкое энергопотребление;
- длительный срок службы.

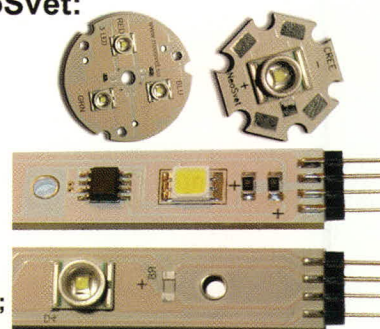
#### Области применения светодиодных кластеров NeoSvet:

- архитектурное, ландшафтное и декоративное освещение;
- аварийное освещение;
- рекламные конструкции;
- транспортные системы освещения;
- бытовые светильники;
- специальные светильники для ответственных применений.

NeoSvet - это надежные и эффективные компоненты для решения Ваших задач!

WWW.NEOSVET.SU

г. Санкт-Петербург  
тел/факс (812) 335-00-65  
г. Москва  
тел/факс (495) 725-26-79



реклама

# Каскад ШИМ на ждущем мультивибраторе, или ещё одно включение таймера NE555

Игорь Безверхний (г. Киев, Украина)

Казалось бы, что нового можно сделать на микросхеме, которая разработана более 30 лет назад? Тем не менее, при модернизации старой техники автором совместно с Кадышевым А.Ю. было найдено и использовано ещё одно нестандартное включение микросхемы таймера NE555 (КР1006ВИ1).

При модернизации устройства управления силовым механизмом было установлено, что, изменяя скважность выходных импульсов этого устройства, можно управлять его мощностью. Это свойство было решено использовать для стабилизации выходной мощности, введя в схему широтно-импульсный модулятор (ШИМ) и петлю обратной связи. Использовать имеющийся в устройстве управления формирователь импульсов, выполненный на одном из двух D-триггеров микросхемы K561TM2 (см. рисунок 1), мы не сочли возможным.

Ждущий мультивибратор, показанный на рисунке 1, запускается фронтами положительных симметричных импульсов («меандром») с частотой следования 20 кГц, которые имеют скважность 2 или коэффициент заполнения  $D = 50\%$  (см. рисунок 2). Выходной сигнал мультивибратора представляет собой прямоугольные импульсы той же частоты с коэффициентом заполнения

$D = 30\%$  и постоянной составляющей, равной половине напряжения питания (7,5 В).

Требовалось разработать вместо этого формирователя другой, который позволил бы управлять коэффициентом заполнения, т.е. реализовать ШИМ выходных импульсов в пределах  $D = 20...40\%$ , с сохранением фазовых характеристик, показанных на рисунке 2. Широтно-импульсная модуляция должна осуществляться изменением постоянного напряжения на отдельном входе. Причём необходимо было использовать доступную и недорогую микросхему с минимумом внешней «обвязки». Этим требованиям полностью удовлетворяет таймер NE555.

«Классический» ШИМ на микросхеме типа NE555 [1] (см. рис. 3) не подходит, т.к. встроенный в неё ждущий мультивибратор запускается срезом, а не фронтом положительного запускающего импульса и, следовательно, вносит фазовое рассогласование в устройство управления.

Оригинальный вариант ШИМ был выполнен по схеме, представленной на рисунке 4. Его основой является одновибратор на таймере NE555. Схема питается напряжением 15 В; назначение элементов:

- R1 – резистор цепи заряда времязадающего конденсатора C4;
- R3, R4, C4 – времязадающая цепь;
- R4 – регулятор скважности импульсов;
- C2, R2 – дифференцирующая цепь запуска;
- D1 – диод, отсекающий отрицательные всплески проинтегрированных входных запускающих импульсов;
- C1 – конденсатор фильтра питания;
- C3 – конденсатор ФНЧ в цепи управляющего напряжения ШИМ.

Если не подавать на вывод 5 микросхемы управляющее напряжение, то за счёт внутреннего резистивного делителя на этом выводе установится напряжение 10 В (2/3 напряжения питания), а на неинвертирующем входе нижнего (по схеме) компаратора микросхемы – 5 В, или 1/3 напряжения питания.

В исходном состоянии конденсатор C4 заряжен через R1 до напряжения источника питания (15 В). Напряжение на конденсаторе C4 приложено через вывод 2 микросхемы к инвертирующему входу нижнего компарато-

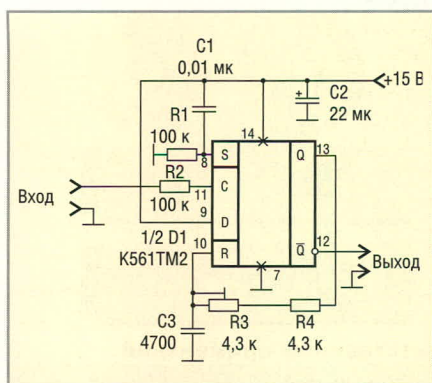


Рис. 1. Ждущий мультивибратор – формирователь импульсов на D-триггере (на 1/2 K561TM2)

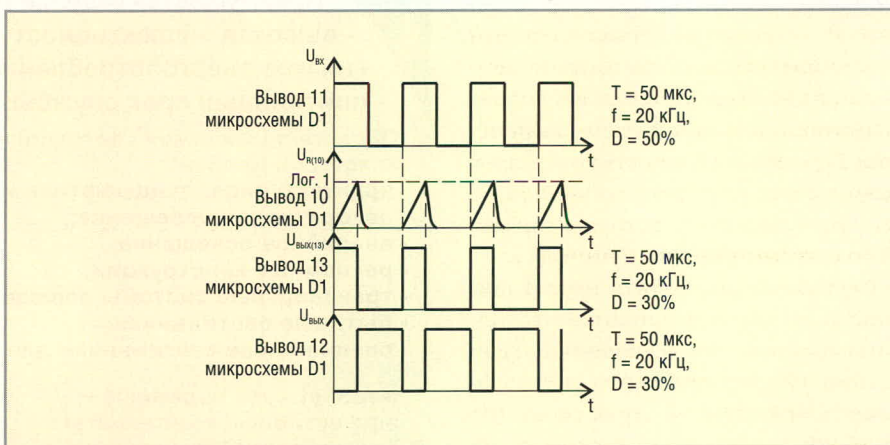


Рис. 2. Эпюры напряжений формирователя импульсов, выполненного по схеме рис. 1

ра. При этом на его выходе будет низкий потенциал (уровень лог. 0), который поступает на вход S внутреннего триггера микросхемы. При отсутствии запускающего сигнала, на входе R того же триггера будет низкий потенциал (уровень лог. 0), поскольку через резистор дифференцирующей цепи R2 неинвертирующий вход верхнего (по схеме) компаратора соединён с шиной нулевого потенциала. Это означает, что триггер будет сохранять предыдущее состояние – низкий потенциал на инвертированном выходе Q. При этом встроенный транзисторный ключ (подключенный коллектором к выводу 7 микросхемы) будет разомкнут, а на выходе инвертора (выводе 3 микросхемы) будет напряжение, близкое к 15 В.

С приходом фронта запускающего импульса (см. рисунки 4 и 5) его положительный всплеск через дифференцирующую цепь C2, R2 и вывод 6 поступает на неинвертирующий вход верхнего компаратора. На выходе компаратора и на входе R триггера кратковременно появляется высокий потенциал (уровень лог. 1), который приводит к срабатыванию триггера, и на его инвертированном выходе Q появляется высокий потенциал. Это приводит к понижению напряжения на выходе до нуля и отпиранию встроенного транзистора, который подключает цепь R3, R4 параллельно конденсатору C4.

Конденсатор C4 разряжается через резисторы R3, R4 до напряжения на неинвертирующем входе нижнего компаратора микросхемы, после чего на выходе компаратора и входе триггера появляется высокий потенциал, который переводит выход триггера в лог. 1, и на инвертированном выходе Q устанавливается низкий потенциал, а на выходе схемы (вывод 3) – высокий. Транзисторный ключ размыкает времязадающую цепь, и конденсатор C4 заряжается до напряжения источника питания через резистор R1. По окончании заряда C4 схема остаётся в исходном, устойчивом состоянии до прихода следующего запускающего импульса.

Очевидно, что длительность выходных импульсов зависит от времени разряда времязадающего конденсатора C4, которое, в свою очередь, определяется управляющим напряжением, поступающим на вывод 5 микросхемы.

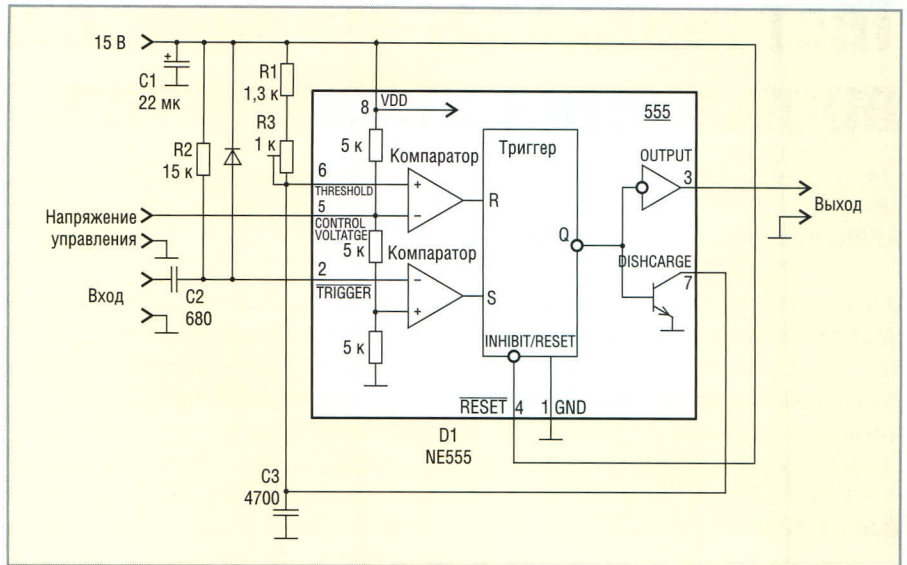


Рис. 3. «Классический» ШИМ на микросхеме NE555

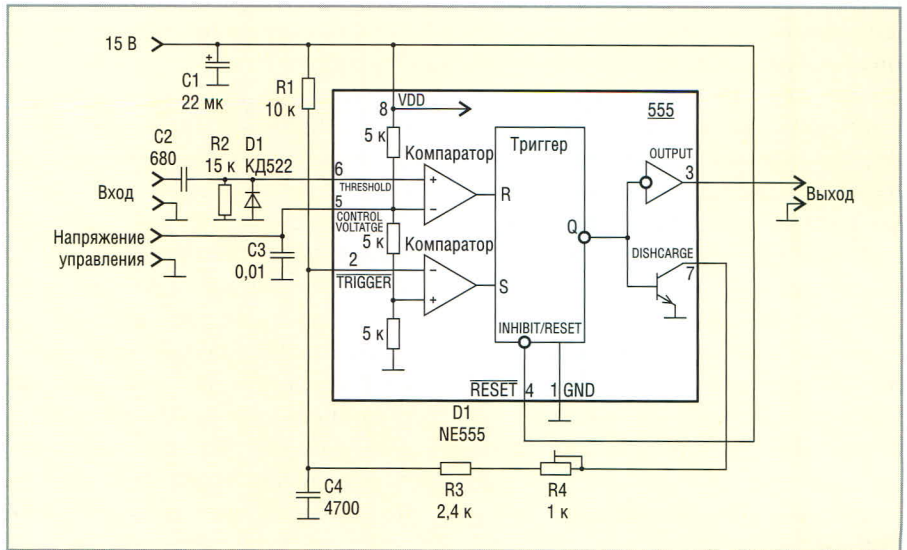


Рис. 4. ШИМ на микросхеме NE555, запускаемый фронтами положительных импульсов

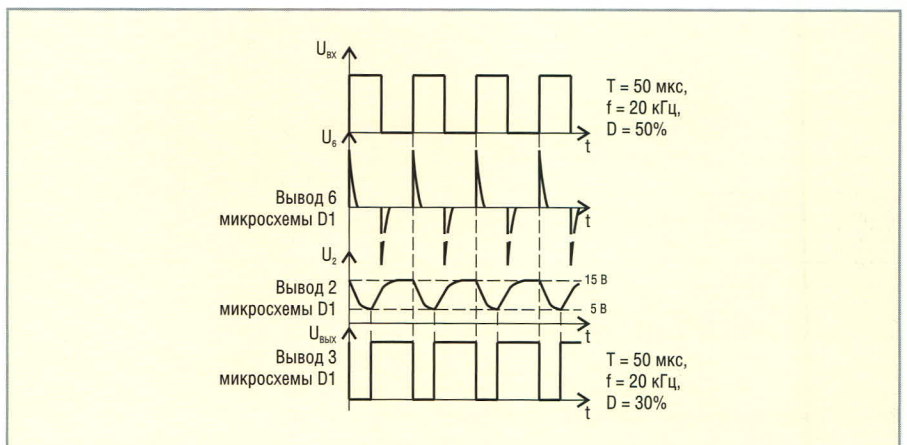


Рис. 5. Элюры напряжений ШИМ (см. рис. 4) при отсутствии управляющего напряжения

В заключение отметим, что ещё две нестандартные схемы включения таймера NE555 можно найти в [2, 3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Трейстер Р. Радиолобительские схемы на ИС типа 555. Мир, 1988.

2. Де Колд. Интегральный таймер в схеме регулирования температуры. <http://www.radiomaster.net/load/14-3/index.html>.  
3. Запуск ИС таймера 555 положительным импульсом. <http://kazus.ru/articles/93.html>.



# Тестер DISEqC-устройств с поддержкой протоколов управления: 1.0, 1.1 и 1.2

Александр Данилин (Брянская обл.)

В статье описан испытательный прибор для различного оборудования, применяемого в системах индивидуального спутникового приёма. Тестером можно проверять различные коммутаторы, поддерживающие протоколы управления спутниковым оборудованием DISEqC 1.0 и 1.1, и моторизированные подвесы (протокол DISEqC 1.2).

## ВВЕДЕНИЕ

Автор несколько лет занимается монтажом спутниковых антенн для индивидуального приёма. В последнее время проявляется тенденция удешевления оборудования при снижении его качества. В погоне за сверхприбылью оптовики покупают дешёвые комплектующие неизвестного происхождения и сомнительного качества, не тестированные производителем. Поэтому участились ситуации, когда приобретённое оборудование полностью или частично неработоспособно.

Многие производители на упаковке и в документации к оборудованию указывают завышенные или неверные параметры. Например, на коммутаторе указано, что он поддерживает «расширенный» протокол управления спут-

никовым оборудованием DISEqC 1.1, а на поверку оказывается, что это обычный коммутатор DISEqC 1.0. В связи с этим весьма актуальным становится использование специального тестера для проверки устройств, которые наиболее часто подделываются или выходят из строя: коммутаторов спутникового сигнала и моторизированных подвесов спутниковых антенн.

## НАЗНАЧЕНИЕ ТЕСТЕРА

Тестер предназначен для проверки работы следующих устройств:

- коммутаторов с поддержкой протокола управления DISEqC 1.0 (до четырёх подключаемых конвертеров);
- коммутаторов с поддержкой протокола управления DISEqC 1.1 (от четырёх и более подключаемых конвертеров);

- моторизированных подвесов спутниковых антенн с поддержкой протокола управления DISEqC 1.2.

## ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ТЕСТЕРА

Принципиальная электрическая схема тестера показана на рисунке 1. Все необходимые функции управления выполняются микроконтроллером ATtiny2313, к которому подключены:

- клавиатура для выбора необходимого режима работы тестера;
- ЖКИ типа Holtek HT1613 для отображения режимов работы и другой информации;
- схема формирования посылок управляющих сигналов, выполненная на диодах VD1, VD2 и транзисторах VT1, VT2;
- четыре датчика с гальванической развязкой, которые подключаются к выходам тестируемого коммутатора.

При включении питания происходит запуск программы, загруженной в МК. Начинает мигать светодиод VD3, указывая на работоспособность устройства. После этого следует пауза четыре секунды, – первые три секунды после подачи питания происходит запуск программы, загруженной в МК. Начинает мигать светодиод VD3, указывая на работоспособность устройства. После этого следует пауза четыре секунды, – первые три секунды после подачи питания происходит запуск программы, загруженной в МК. Начинает мигать светодиод VD3, указывая на работоспособность устройства.

Верхний ряд кнопок используется для выдачи команды GOTO xx для моторизированного подвеса по протоколу DISEqC 1.2 (команда E0 31 6B xx). При нажатии левой кнопки происходит уменьшение значения позиции xx. При нажатии правой – увеличение значения позиции xx. При этом производится проверка минимального (1) и максимального (16) значений.

Второй сверху ряд кнопок используется для выдачи команды «ШАГ (step) 1» для моторизированного подвеса по протоколу DISEqC 1.2 (команда E0 31 68/69). При нажатии левой кнопки выдается команда «Шаг на запад», при нажатии правой – «Шаг на восток».

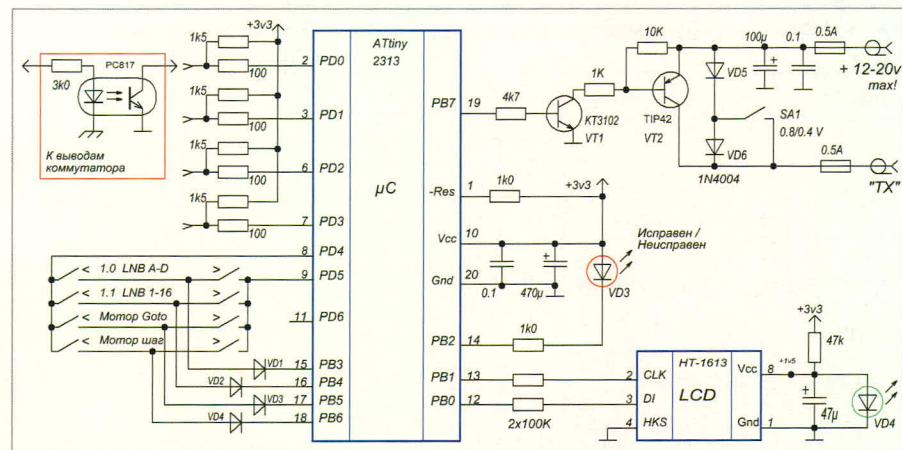


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема тестера DISEqC-устройств

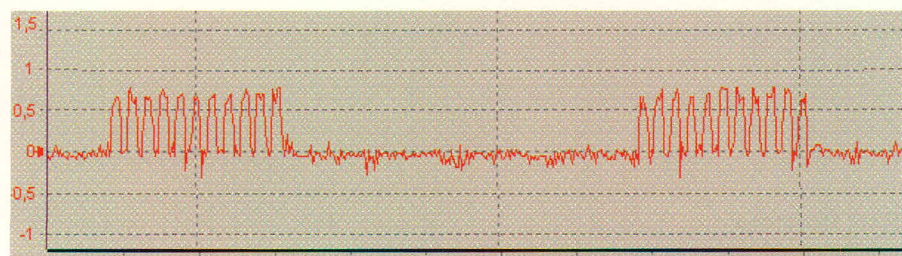


Рис. 2. Передача сигналов управления

www.sael.ru

## *Micrometals-Властелин колец*



### Магнитодиэлектрики MICROMETALS на складе ПРОСОФТ

**Применение сердечников Micrometals гарантирует:**

- снижение стоимости индуктивных компонентов
- снижение потерь на 30...50% по сравнению с ферритами
- повышение надёжности аппаратуры
- оптимизацию конструкции и уменьшение габаритов индуктивных компонентов

*Высокоэффективные  
магнитодиэлектрические сердечники  
Micrometals для силовой электроники  
и ВЧ-техники*



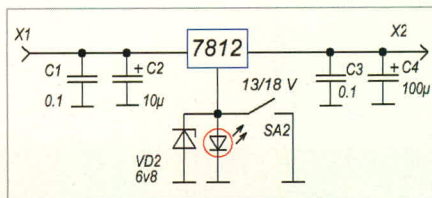


Рис. 3. Доработка блока питания

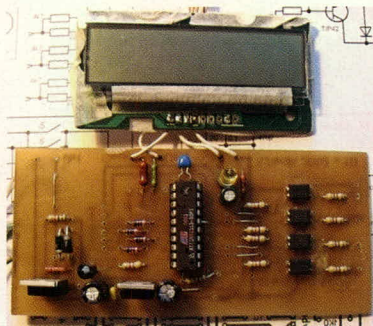


Рис. 4. Печатная плата и индикатор

Третий сверху ряд кнопок используется для выдачи команды «Выбрать LNB xx» для коммутатора, поддерживающего протокол DISEqC 1.1 (команда E0 10 39 xx). При нажатии левой кнопки происходит уменьшение значения xx. При нажатии правой – увеличение значения xx. При этом производится проверка достижения минимального (1) и максимального (16) значений.

Нижний ряд кнопок используется для выдачи команды «Выбрать LNB xx» для коммутатора, поддерживающего протокол DISEqC 1.0 (команда E0 10 38 xx). При нажатии левой и правой кнопок происходит изменение значений xx. При этом производится проверка достижения минимального (1) и максимального (4) значений.

Рассмотрим работу схемы формирования посылок управляющих сигналов. Через диоды VD5 и VD6 на выход «TX» поступает напряжение на 0,7...0,8 В ниже, чем напряжение питания на входе схемы. Когда на базу транзистора VT1 подаётся команда (пакеты импульсов с частотой заполнения 22 кГц), транзистор VT2 открывается, диоды VD5 и VD6 шунтируются переходом эмиттер–коллектор и на выход TX поступает полное напряжение питания. Соответственно, в линии связи возникают колебания напряжения с уровнем около 0,7...0,8 В (см. рис. 2).

В коммутаторе и в мотоподвесе эти пакеты импульсов поступают на вход усилителя, после чего принимаются и расшифровываются микроконтроллером. После этого происходит выполнение необходимого действия, в зависимости от типа устройства: коммутатор подключает требуемый вход, а мотоподвес перемещает спутниковую антенну.

### РАБОТА С ТЕСТЕРОМ

Работа с тестером не требует специального обучения. Необходимо лишь соблюдение полярности подключения питания к тестеру и испытываемому оборудованию, а также отсутствие короткого замыкания в подключаемом устройстве.

Во время работы тестера в правой части индикатора отображается номер выбранного LNB (для коммутатора) или позиции (при использовании мотоподвеса). В левой части индикатора отображается выбранный режим работы:

- P0 – режим DISEqC 1.0,
- P1 – режим DISEqC 1.1,
- P2 – режим DISEqC 1.2.

К сожалению, используемый в тестере ЖКИ не может отображать точку. При желании её можно нанести на стекло индикатора чёрным несмываемым маркером.

При выборе режима также изменяется частота мигания светодиода VD7: P0 – мигает редко, P1 – мигает часто, P2 – мерцает.

В тестере предусмотрена возможность автоматизации проверки работы коммутаторов. Для этого подключите щупы ABCD к соответствующим выводам коммутатора 1234. Проверка работы коммутатора выполняется следующим образом. При одновременном нажатии и удержании кнопок «<» и «>» соответствующего режима запускается специальная подпрограмма, которая перебирает значения вывода коммутатора в последовательности «1-2-3-4». После передачи команды коммутатору тестер сверяет соответствие включенного входа и переданной команды. При неисправности коммутатора начинает светиться светодиод VD3 и в правой части индикатора отображается номер неисправного выхода коммутатора: «-x». На этом тест завершается.

Например, для включения режима автоматической проверки коммутатора с поддержкой протокола 1.1 необходимо подключить к тестеру коммутатор, одновременно нажать и удерживать около секунды кнопки «<» и «>» в третьем сверху ряду (режим P1). На индикаторе будут последовательно отображаться цифры от 1 до 4, при этом в линию связи с коммутатором будут передаваться команды включения указанного входа. Если в подключенном коммутаторе не работает выход 3, то на индикаторе будет отображено «P1 -3».

Некоторые модели коммутаторов имеют низкую чувствительность и по-

этому не работают на длинных линиях. Для отбраковки таких коммутаторов предусмотрен специальный режим с пониженным уровнем сигналов управления, включаемый тумблером SA1 «0.8/0.4 V». При этом в линию связи будут поступать сигналы управления с пониженным уровнем 0,4 В.

Как показывает практика, некоторые модели коммутаторов неверно принимают команды управления при напряжении питания ниже 14 В (вертикальная поляризация). Для отбраковки таких коммутаторов необходимо в блоке питания тестера реализовать два режима работы: 17...19 В (горизонтальная поляризация) и 13...15 В (вертикальная поляризация). Это несложно сделать, используя простую схему, показанную на рисунке 3.

### КОНСТРУКЦИЯ ТЕСТЕРА

Схема тестера смонтирована на печатной плате 110 × 50 мм, разведённой в программе Layout 5.0 и изготовленной в домашних условиях по «лазерно-утюжной технологии». Плата и индикатор устанавливаются в корпус подходящего размера. Клавиатура выполнена на основе кнопок, закреплённых на корпусе изделия монтажной гайкой. Светодиод VD3 вынесен на переднюю панель тестера.

Если вы не планируете использовать тестер в автоматическом режиме, при котором на индикаторе отображается неисправный выход коммутатора, то ЖКИ можно не устанавливать. Вид печатной платы и индикатора тестера (без клавиатуры) показан на рисунке 4.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕСТЕРА

На интернет-странице автора и на сайте журнала СЭ доступна для скачивания демонстрационная версия программного обеспечения тестера. В этой версии реализованы функции работы с коммутаторами, поддерживающими протокол DISEqC 1.1. При этом клавиатура пронумерована как «1-8», что упрощает выбор необходимого входа при тестировании. Возможность проверки мотоподвесов и коммутаторов, поддерживающих протокол DISEqC 1.0, в демоверсии программы недоступна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. www.pic-avr.narod.ru.
2. Агузов П. Последовательные интерфейсы ПК. БХВ-Петербург, 2004.
3. Стоарт Болл Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. Додэка-XXI, 2007. ©

# Мир электронных КОМПОНЕНТОВ

**Широкий ассортимент продукции  
от ведущих зарубежных  
производителей**

**Сотрудничество с компанией ПРОСОФТ гарантирует:**

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

Реклама



# PROSOFT®

+7 (495) 232-25-22  
info@prochip.ru  
www.prochip.ru

# Altium Designer – схемотехническое моделирование и типы моделей

(продолжение)

**Алексей Сабунин (Москва)**

В предыдущей статье (см. СЭ № 6, 2009) было рассказано о процедуре выполнения моделирования в системе Altium Designer и форматах Spice-моделей, которые могут быть использованы для анализа. Также были рассмотрены встроенные модели и модели типа \*.MDL. В данной статье завершается описание используемых моделей на примерах подсхем (subckt) и цифровых микросхем.

Модели, рассмотренные в предыдущей статье, описывают работу простых компонентов, таких как конденсатор, резистор, и т.д., вплоть до полевого транзистора и трансформатора. Для более сложных компонентов, таких как операционный усилитель, компаратор и др., используются модели более высокого уровня, которые представляют собой описание эквивалентной схемы данного устройства. Рассмотрим описание таких моделей на примере операционного усилителя.

Операционный усилитель (ОУ, OpAmp) представляет собой ИС, широко используемую в электронике. Реальная схема ОУ довольно сложна, и нет необходимости отражать все её свойства в каждом конкретном случае. В алгоритме Spice используются модели операционных усилителей трёх уровней:

- Level 1 – простейшая линейная модель, представляющая собой источник напряжения управляемый напряжением (в дальнейшем – идеальный ОУ). Такой ОУ будет смоделирован для PSpice как усилитель с высоким входным сопротивлением,

нулевым выходным сопротивлением и высоким коэффициентом усиления по напряжению;

- Level 2 – более сложная линейная модель, состоящая из двух каскадов и имитирующая два полюса передаточной функции ОУ, ограничение скорости нарастания входного напряжения, конечный коэффициент усиления и конечное выходное сопротивление;

- Level 3 – нелинейная модель. В ней учитываются ограничения на скорость нарастания входного напряжения, значения выходного сопротивления на постоянном и переменном токе, ток и напряжение смещения, запас по фазе на частоте единичного усиления, площадь усиления, коэффициент подавления синфазного сигнала, реальные значения диапазона выходного напряжения и тока.

В учебных целях ознакомимся со структурой моделей первых двух типов. Идеальный ОУ и типичные значения параметров, составляющих его подсхему, показаны на рисунке 1 (где  $R_i = 1 \text{ ГОм}$ ,  $A = 200\,000$  и  $V(A3) = A \cdot (0 - V(A2))$ ). Эта модель служит для анализа на постоянном токе и низкой частоте. При необходимости можно изменить модель, учитывая другие свойства ОУ. На рисунке 1 показана схема проверки ОУ, а непосредственно подсхема ОУ показана внутри треугольника. Эта подсхема содержит резистор  $R_i$  и источник напряжения  $E1$ , управляемый напряжением на резисторе  $R_i$ . Резисторы, используемые на схеме, взяты из библиотеки *Miscellaneous Devices.IntLib*,

которая находится в папке *Library* в директории установки *Altium Designer*. Кроме резисторов, на схеме использованы два источника, которые взяты из библиотеки *Simulation Sources.IntLib*, расположенной в папке *Library\Simulation* (описание используемых источников будет дано ниже).

На рисунке 1 показана схема включения ОУ с использованием отрицательной обратной связи по напряжению для PSpice. Резистор обратной связи  $R2$  включен между выходом и инвертирующим входом, при этом неинвертирующий вход ОУ заземлён. Для проведения анализа необходимо указать обозначенные ранее узлы и выбрать вид анализа *Operating Point Analysis* (см. рис. 2). Напряжение на узле  $A3$  равно  $-9,999 \text{ В}$ , таким образом, коэффициент передачи близок к  $-10 \text{ В/В}$ .

В рассмотренной схеме не был использован ОУ, а рассматривалась эквивалентная схема, представляющая идеальный ОУ. В результате моделирования был создан файл с расширением \*.msx, который показан на рисунке 3. Структура этого файла была описана в СЭ № 6, 2009 и строки, начинающиеся с  $E1$  и  $R_i$ , относятся к эквивалентной схеме ОУ, тогда как остальная часть схемы необходима лишь для проверки работы ОУ.

Теперь можно описать собственно ОУ следующим образом:

```
.SUBCKT OPAMP A2 0 A3
E1 A3 0 0 A2 200000
Ri A2 0 1G
.ENDS
```

В первой строке после команды *.SUBCKT* (перед которой не должно быть пробела!) идёт название модели и перечисление выводов, далее – список элементов подсхемы. В нашем случае элемент  $E1$  задаёт напряжение между узлами  $A3$  и  $0$  в зависимости от напряжения между узлами  $A2$  и  $0$ . Цепь с

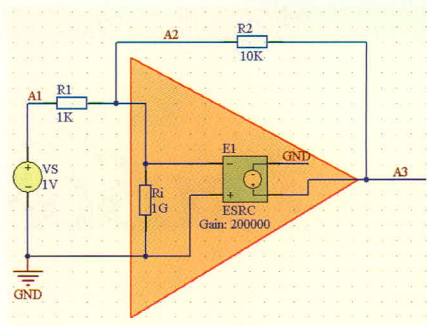


Рис. 1. Идеальный операционный усилитель

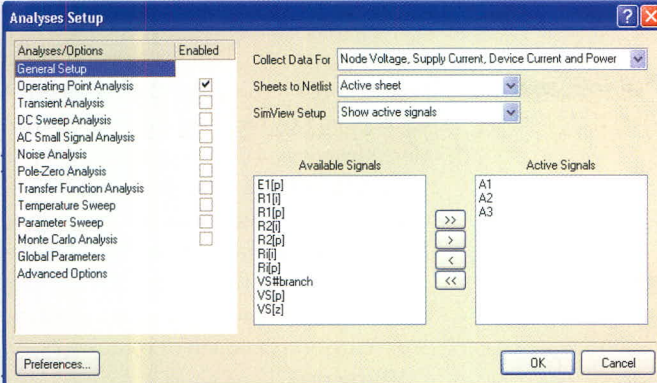


Рис. 2. Настройки анализа узловых потенциалов

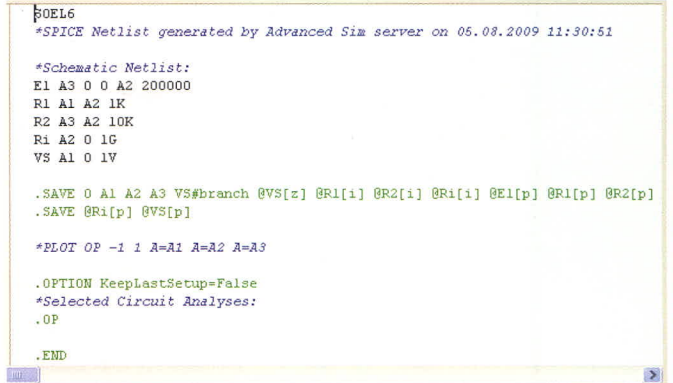


Рис. 3. Входной файл для анализа схемы

названием 0 является опорной, относительно которой происходит измерение напряжений, и на схеме представлена названием GND.

Попробуем создать самостоятельный усилитель и добавить к нему модель для *PSpice*. Для начала создадим новый файл модели командой *File > New > Mixed-Signal Simulation > AdvancedSim Sub-Circuit*, вставим в него полученную ранее модель (выделенную полужирным шрифтом) и сохраним под названием *OPAMP*. Далее создадим новую библиотеку и добавим в неё символ операционного усилителя (о создании библиотек и компонентов см. СЭ № 6, 2008). Теперь необходимо подключить модель к компоненту, для чего в списке моделей нажимаем кнопку *Add Simulation* (см. рис. 4), в списке *Model Sub-Kind* выбираем вариант *Spice Subcircuit*, что соответствует моделям в формате SKT, и после этого по кнопке *Browse* выбираем созданную ранее модель.

При подключении модели к компоненту следует помнить один важный момент: порядок перечисления выводов в первой строке модели соответствует порядку нумерации выводов на символе! В нашем случае этот порядок совпал, но это далеко не всегда так, и в особенности у компонентов, которые имеют несколько ячеек внутри одного корпуса (поскольку модель описывает лишь логику одной такой ячейки). Поэтому, находясь в окне *Sim Model - General/Spice Subcircuit*, следует перейти на вкладку *Port MAP* и при необходимости указать соответствие выводов символа выводам модели. Особое внимание следует обратить на структуру проекта (см. рис. 4). Здесь все используемые файлы находятся в рамках одного проекта *SOEL7* (схема, библиотека, модель). Поэтому при подключении модели к компоненту она была обнаружена в выпадающем списке, а при размещении компонента на схеме его

библиотека находится в списке подключенных библиотек.

Рассмотрим случай, когда необходимо получить частотные характеристики операционного усилителя. Для этого следует использовать модель второго уровня, которая учитывает изменение параметров ОУ при изменении частоты. Для ОУ с типовыми характеристиками предлагается модель, показанная на рисунке 5 [1].

Исследуем модель, которая включает  $R_{in} = 1 \text{ МОм}$ ,  $R_O = 50 \text{ Ом}$ ,  $R_{i1} = 1 \text{ кОм}$ ,  $C = 15,92 \text{ мкФ}$  и EG с коэффициентом усиления по напряжению  $A = 100$ . Последний параметр представляет собой низкочастотный коэффициент усиления, или коэффициент усиления по постоянному току при разомкнутой обратной связи. При использовании этих значений получим выходное напряжение на частоте  $f_c = 10 \text{ Гц}$ , при которой выходное напряжение снижается на 3 дБ.

Для проведения частотного анализа, в настройках *Analyses Setup* выбираем вариант *AC Small Signal Analysis* с параметрами *Start Frequency = 1*, *Stop Frequency = 1M*,

*Sweep Type = Decade*, *Test Point = 100*. В результате моделирования будет получен график, показанный на рисунке 6, который по умолчанию имеет линейную шкалу. Для изменения типа шкалы на логарифмический необходимо выполнить двойной щелчок на оси *Ox* (оси частоты) и в настройке *Grid Type* выбрать *Logarithmic* (см. рис. 6).

После отладки схемы её можно представить в виде самостоятельной модели, которая в данном случае примет следующий вид:

```
.SUBCKT OPAMP A2 0 A3
E2 X6 0 X4 0 1
EG X3 0 X2 X1 100
C1 X4 0 15.92u
Ri1 X3 X4 1k
Rin X2 X1 1MEG
RO X6 X5 50
.ENDS
```

Использование этой модели ничем не отличается от случая, описанного выше. Аналогичным образом можно создавать более сложные модели, которые

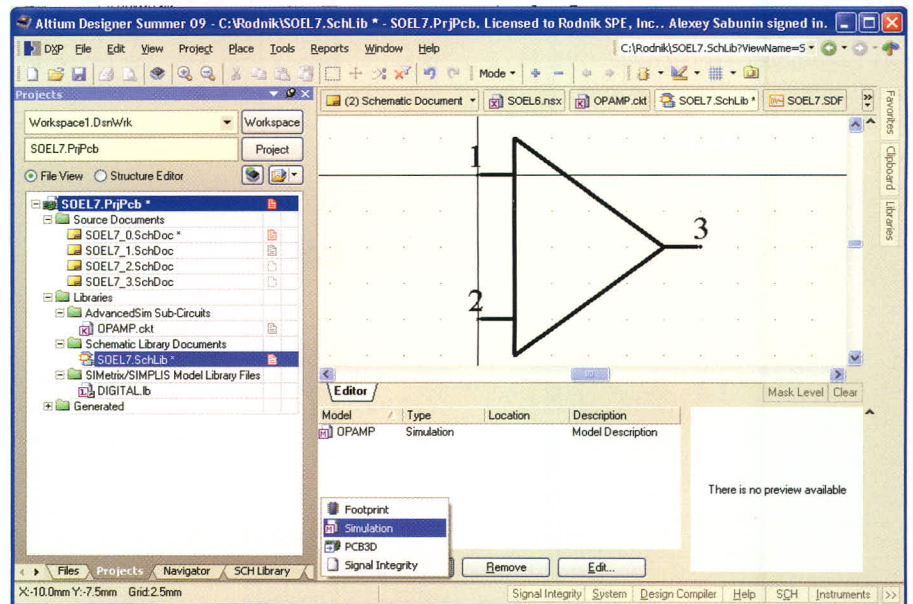


Рис. 4. Подключение модели к компоненту в библиотеке

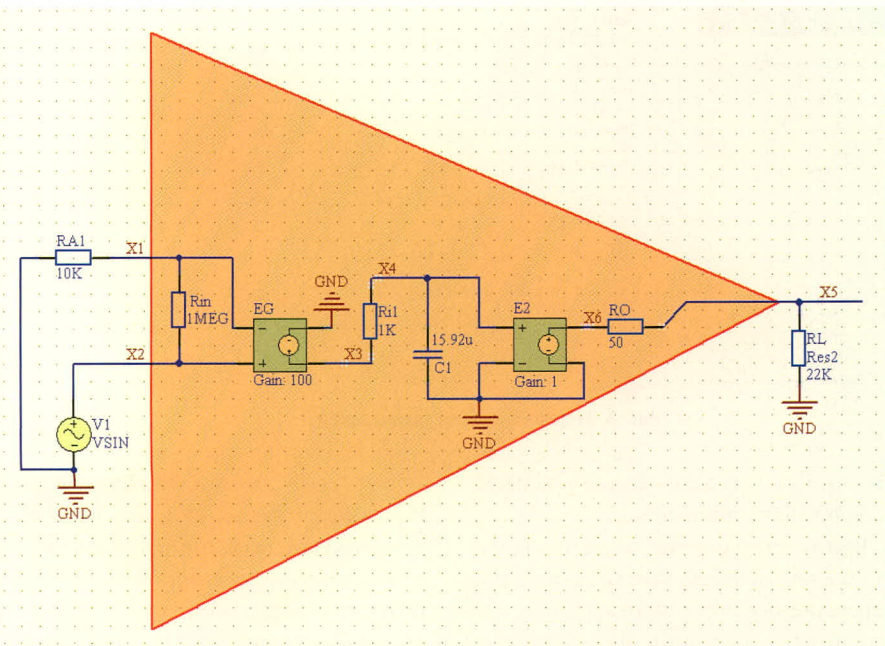


Рис. 5. Использование подмодели OY для получения АЧХ

будут содержать в своей структуре не только простейшие элементы (резисторы, конденсаторы и источники), но и более сложные, описываемые моделями в формате MDL (диоды, транзисторы).

В качестве примера прокомментируем модель компаратора LM339 (см. рис. 7), которая имеется в одной из библиотек программы и была обнаружена с помощью поиска. Здесь в заголовке модели несколько строк, начинающихся с символа «\*», являются комментарием. Далее в строке, которая начинается с команды .SUBCKT, указано название модели и перечислены её выходы. Затем идёт описание подсхемы: F, I, V – различные источники, и далее строка «Q1 9 21 7 QIN» говорит о том, что транзистор Q1 подключен к цепям 9, 21, 7 и для него используется модель QIN. После этого приведено текстовое описание модели QIN с помощью команды .MODEL.

Как видно из модели компаратора и из приведённых выше моделей OY, в моделях SKT часто используются не-

зависимые и зависимые источники тока и напряжения. Эти источники позволяют задавать уровень напряжения или тока в подсхеме устройства, причём существует гибкая система описания этих напряжений и токов.

### НЕЗАВИСИМЫЕ ИДЕАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА

Форма описания источников:

```
V<Имя> <Узел(+)><Узел(-)>
[DC<Амплитуда> [фаза]] [<Сигнал> (<Параметры>)]
I<Имя> <Узел(+)><Узел(-)>
[AC<Амплитуда> [фаза]] [<Сигнал> (<Параметры>)]
```

Положительным направлением тока считается направление от узла (+) через источник к узлу (-). Для источников могут указываться значения, необходимые для расчётов по постоянному току и переходных процессов DC (по

умолчанию – 0), для частотного анализа AC (амплитуда по умолчанию – 0) фаза указывается в градусах. По умолчанию фаза равна нулю. Если задаётся значение сигнала для переходного процесса, то <Сигнал> может принимать значения: Exp – экспоненциальный источник, Pulse – импульсный источник, Pwl – полиномиальный источник, SFFM – частотно-модулированный источник, Sin – синусоидальный источник [2].

Примеры:

- V2 3 0 DC 12 – источник напряжения 12 В, включенный между узлами 3 и 0;
- VSIN 2 0 SIN(0 0,2V 1MEG) – источник синусоидального напряжения 0,2 В с постоянной составляющей 0 В и частотой 1 МГц;
- I3 4 11 DC 2mA – источник тока 2 мА, включенный между узлами 4 и 11;
- ISIN 2 0 SIN(0 0,2m 1000) – источник синусоидального тока 0,2 мА с постоянной составляющей 0 мА и частотой 1000 Гц.

### ЗАВИСИМЫЕ ИСТОЧНИКИ НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА

Зависимые источники (см. рис. 8) широко используются при построении макромоделей и функциональных блоков. Их применение позволяет простыми средствами имитировать любые зависимости между напряжениями и токами. Кроме этого, с их помощью очень просто организовать передачу информации от одного функционального блока к другому.

В Altium Designer встроены следующие типы зависимых источников (которые расположены в библиотеке Simulation Sources.IntLib):

- E – источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН);
- F – источник тока, управляемый током (ИТУТ);
- G – источник тока, управляемый напряжением (ИТУН);

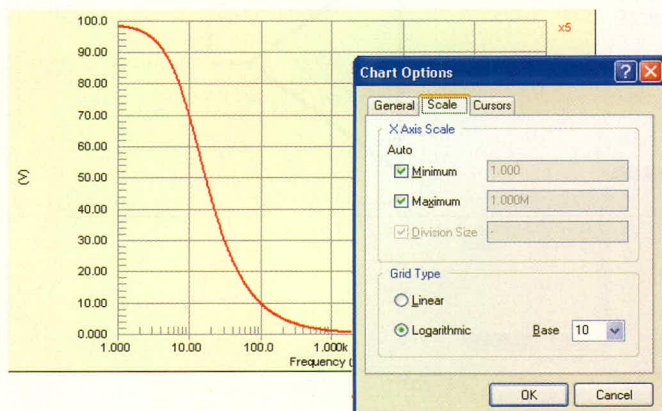


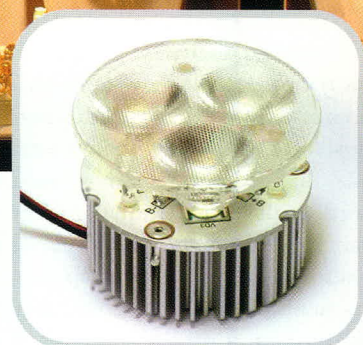
Рис. 6. АЧХ усилителя без обратной связи

```
*LM339
*Quad_SnglSup pkg_DIP14 (A:5.4,3,12,2)(B:7,6,3,12,1)(C:9,8,3,12,14)(D:11,10,3,12,13)
* Connections
* Non-Inverting Input
* Inverting Input
* Positive Power Supply
* Negative Power Supply
* Out
.SUBCKT LM339 1 2 3 4 5
F1 9 3 V1 1
IEEE 3 7 DC 100_0E-6
V12 21 1 DC .75
V12 22 2 DC .75
Q1 9 21 7 QIN
Q2 8 22 7 QIN
Q3 9 8 4 QMO
Q4 8 8 4 QMT
.MODEL QIN PNP(IS=800_0E-18 BF=2E3)
.MODEL QMI NPN(IS=800_0E-18 BF=1002)
.MODEL QMO NPN(IS=800_0E-18 BF=1000 CJC=1E-15 TR=807_4E-9)
EI 10 4 9 4 1
V1 10 11 DC 0
Q5 5 11 4 QOC
.MODEL QOC NPN(IS=800_0E-18 BF=20_29E3 CJC=1E-15 TF=942_6E-12 TR=543_8E-9)
RP 3 4 4E_3E3
.MODEL DX D(IS=800_0E-18)
.ENDS LM339
```

Рис. 7. Модель компаратора LM339

## СВЕТОДИОДНАЯ ЛАМПА XLD-MR16

для встраиваемых светильников



Светодиодные лампы серии XLD-MR16 предназначены для замены традиционных галогенных источников света во встраиваемых светильниках типа "downlight".

### Основные области применения светодиодных ламп:

- внутреннее освещение
- освещение витрин
- встраиваемые осветительные системы

Доступны модели трех оттенков белого цвета – холодного (WHC), естественного (WHS) и теплого (WHW). Применение в качестве источников света высокоэффективных и надежных светодиодов компании Cree гарантирует в течение всего назначенного срока службы стабильность светового потока и цветовых характеристик белого света.

### Основные преимущества светодиодных ламп:

- высокая экономичность
- универсальное крепление
- простота установки
- отсутствие нагрева
- большой срок службы

Гарантия на светодиодные лампы составляет 5 лет.

### Основные технические характеристики

Модель	XLD-MR16	
Питание	Внешний драйвер	
Рабочий ток	350 mA	700 mA
Цветовая температура	5000 K ... 10000 K (холодный, WHC) 3700 K ... 5000 K (естественный, WHS) 2600 K ... 3700 K (теплый, WHW)	
Световой поток	255 лм (холодный, WHC) 225 лм (теплый, WHW) 215 лм (естественный, WHS)	385 лм (холодный, WHC) 340 лм (теплый, WHW) 325 лм (естественный, WHS)
Потребляемая мощность	3,5 Вт	7 Вт
Угол излучения	10° 20° 50°	
Класс защиты	IP20	
Рабочий диапазон температур	-40... +50°C	

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

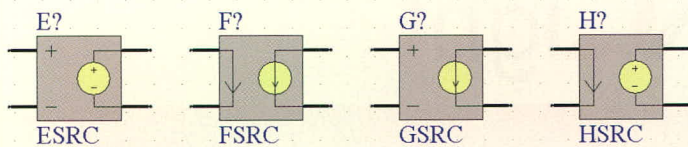


Рис. 8. Зависимые идеальные источники

● H – источник напряжения, управляемый током (ИНУТ).

Форма описания включения в схему: Первый символ <Имя> <Узел(+)> <Узел(-)> <Передаточная функция>.

Первый символ имени должен соответствовать типу источника. Положительным направлением тока считается направление от узла (+) через источник к узлу (-). Далее указывается передаточная функция, которая может быть описана разными способами:

- степенным полиномом: Poly (<Выражение>);
- формулой: Value=(<Выражение>);
- таблицей: Table (<Выражение>);
- преобразованием Лапласа: Laplace (<Выражение>);
- частотной таблицей: Freq (<Выражение>);
- полиномом Чебышева: Chebyshev (<Выражение>).

Источники сигналов сложной формы и разнообразные нелинейные приборы удобно моделировать с помощью источников напряжения (E) или тока (G), т.к. они позволяют использовать параметры и любые функции от узловых потенциалов, токов (через независимые источники напряжения) и времени в соответствии со следующей формой описания включения в схему:

```
E<Имя> <+Узел> <-Узел>
Value={<Выражение>} G<Имя>
<+Узел> <-Узел> Value ={<Выражение>}
```

После ключевого слова Value в фигурных скобках приводится алгебраическое выражение, зависящее от узловых потенциалов, разности узловых потенциалов, токов через независимые источники напряжения и времени.

Создадим зависимый источник сложной формы: ESIGNAL 2 0 VALUE = {50mV SIN(6.28\*100kHz\*Time)\*V(3,4)} GPW 6 0 Value = {V(5)\*I(VP)}. Здесь для текущего времени выделено ключевое слово Time.

Область управляемых источников с нелинейным законом управления весьма обширна. С их помощью легко имитировать нелинейные радиоэлементы со сложной ВАХ. В частности, нелинейные проводимости или резисторы

имитируются в программе PSpice с помощью источников напряжения, управляемых собственным током, или источников тока, управляемых собственным напряжением. Пример имитации нелинейного резистора (см. рис. 5) и его описание имеют вид:

```
G1 1 2 Value={F(V(G))}.
```

Нелинейная функция F(VG), описывающая нелинейную зависимость тока от падения напряжения на резисторе, должна быть определена в задании на моделирование до строки с описанием источника G, например:

```
Func F(X)=1e-6.(1-Exp(-40.X))
```

В режимах .Tran и .DC значения источников E<Имя>, G<Имя> вычисляются согласно приведённым в фигурных скобках выражениям. Если это выражение представляет собой линейную функцию нескольких переменных, то в режиме .AC данный источник представляет собой линейный управляемый источник. При этом, если в выражение входит переменная Time, она полагается равной нулю. Если же это выражение представляет собой нелинейную функцию одной переменной, то после расчёта режима цепи по постоянному току выражение в фигурных скобках линеаризуется, и в частотной области такой источник представляет собой линеаризованный управляемый источник. Нелинейную функцию нескольких переменных при расчёте частотных характеристик использовать нельзя – результаты будут непредсказуемы. Эти же замечания справедливы и для описываемого ниже табличного задания управляемых источников.

Удобно создавать модели нелинейных приборов с помощью табличного задания передаточной функции. Здесь входом таблицы является <Выражение>, которое содержит любую комбинацию напряжений и токов:

```
E<Имя> <+Узел> <-Узел> Table
{<Выражение>} <<Аргумент> <Функция>
```

```
G<Имя> <+Узел> <-Узел> Table
{<Выражение>} <<Аргумент> <Функция>
```

При обращении к управляемому источнику вычисляется значение выражения и берётся значение функции из таблицы с помощью линейной интерполяции между опорными точками, заданными парами чисел (<Аргумент>, <Функция>). Например, ВАХ туннельного диода, рассматриваемого как нелинейная проводимость (см. рис. 5), может быть задана в виде:

```
GR 1 2 TABLE (V(GR)) = (0,0)
(.01,1mA) (.02,1.1mA) (0.05,2mA)
(.06,3mA) (.065,3.2mA)
+ (.8,1.5mA) (1,3mA) (1.5,5mA)
```

Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. Заметим, что отсутствие аппроксимации табличных значений сплайнами более высоких порядков, чем линейная интерполяция, в ряде случаев приводит к большим погрешностям и проблемам со сходимостью.

С помощью управляемых источников, передаточная функция которых задаётся с помощью преобразования Лапласа, можно описывать свойства приборов в частотной области:

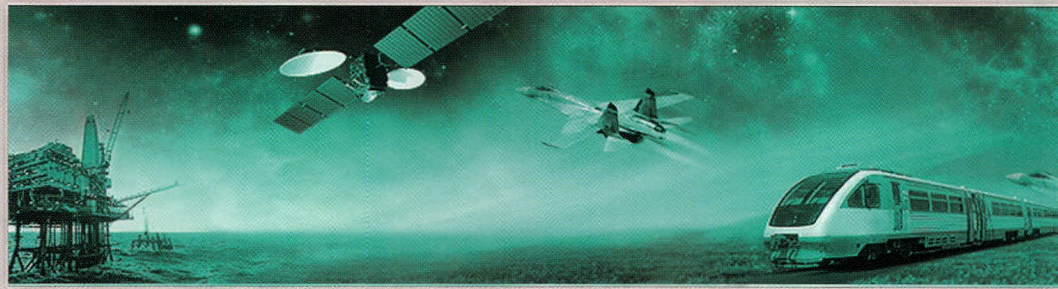
```
E<Имя> <-узел><-узел> Laplace
{<выражение>}=[<передаточная функция в S-области>]
G<Имя><+узел><-узел> Laplace
{<выражение>}=[<передаточная функция в S-области>]
```

По директиве .AC определяются значения комплексного коэффициента передачи блока на каждой частоте. При расчёте рабочей точки по постоянному току и по директиве .DC, берётся значение коэффициента передачи на нулевой частоте (поэтому изображения по Лапласу всех узловых потенциалов не должны иметь составляющих типа 1/s). По директиве .Tran выходная переменная блока вычисляется как интеграл Дюамеля (свёртка входного воздействия с импульсной характеристикой блока), что значительно увеличивает длительность расчётов.

Возможны следующие варианты задания линейных блоков. Передаточную функцию активного RC-фильтра можно задать следующим образом:

```
BARC 2 0 Laplace {V(9)}={5/(1+0.01*s)}
```

7 лет работы на рынке электроники  
1200 успешных проектов на территории России



## КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ: сложных модулей, комплексов и систем



Монтаж печатных плат



Сборка приборов, стоек, шкафов



Поставка печатных плат

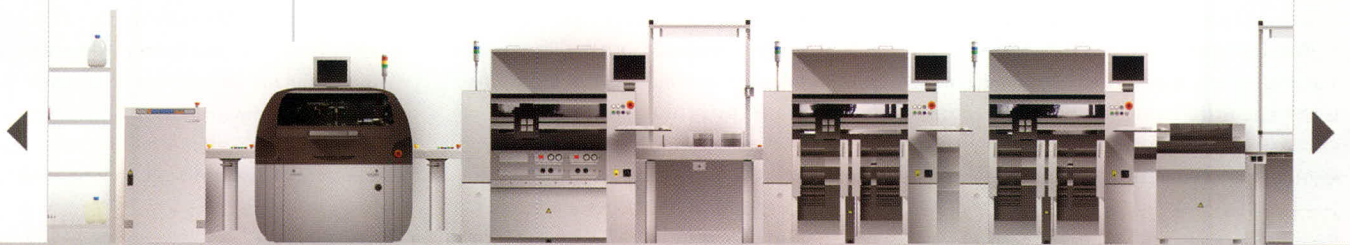


Комплектование производственных программ



Вспомогательная работа и услуги

Посетите **виртуальную** экскурсию по производству на сайте [www.fasteko.ru](http://www.fasteko.ru)



Закажите **реальную** экскурсию на предприятие и консультации с ведущими специалистами по телефону: +7 (495) 739-07-75 или по электронному адресу: [product@fasteko.ru](mailto:product@fasteko.ru)

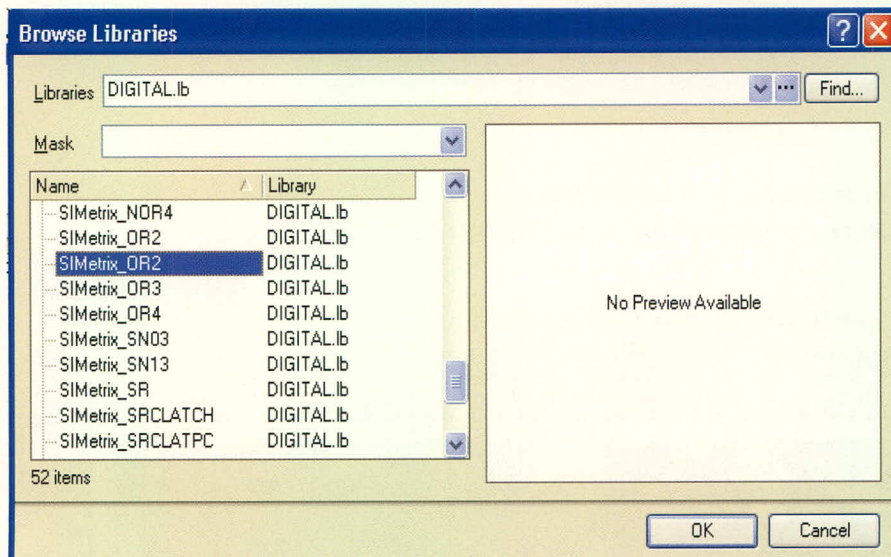


Рис. 9. Использование моделей в формате \*.LB

Для описания фильтров можно использовать зависимые источники с чебышевской передаточной функцией:

```
E<Имя> <+Узел> <-Узел> Chebyshev
{<Выражение>}=<-Тип> <Граничная
частота> +<Затухание>
G<Имя> <+Узел> <-Узел> Chebyshev
{<Выражение>}=<-Тип> <Граничная
частота> +<Затухание>
```

Здесь <Type> – тип фильтра, принимающий значения: LP – фильтр нижних частот, HP – фильтр верхних частот, BP – полосовой фильтр, BR – режкторный фильтр.

Для получения желаемой характеристики фильтра задаётся список граничных частот (для ФНЧ и ФВЧ задаются две частоты, для ПФ и РФ – четыре), а затем список затуханий на этих частотах в децибелах. При этом порядок следования граничных частот может быть любым. Такие фильтры описываются следующим образом:

```
E1 3 4 Chebyshev {V(10)}=LP 800
1.2K 0.1 dB 50dB
E2 5 6 Chebyshev {V(10)}=BP 800
1.2K 2K 3K 0.1dB 50dB
```

Для описания свойств приборов в частотной области можно использовать зависимые источники с табличным описанием комплексной передаточной функции, задаваемой по формату:

```
E<Имя> <+Узел> <-Узел> Freq {<Выражение>} [Keyword]
+ <<Частота>, <Модуль>, <Фаза>>
[Delay]=<Задержка>
G<Имя> <+Узел><-Узел> Freq {<Выражение>} [Keyword]
```

```
+ <<Частота>, <Модуль>, <Фаза>>
[Delay]=<Задержка>
```

Здесь частота задаётся в герцах, модуль передаточной функции – в децибелах, фаза передаточной функции – в градусах. Значения опорных точек указываются в порядке возрастания частоты. Максимальное количество точек 2048. Например, передаточная функция типа фильтра верхних частот задаётся следующим образом:

```
EHighpass 2 0 FREQ {V(9)} (0, -
60, 69.1) (2kHz, -3, 45) (5kHz, 0, 0)
```

С помощью ключевого слова *Keyword* изменяется способ задания таблицы передаточной функции:

- *MAG* – задание абсолютных значений передаточной функции;
- *DB* – задание значений передаточной функции в децибелах (принимается по умолчанию);
- *RAD* – задание фазы в радианах;
- *DEG* – задание фазы в градусах (принимается по умолчанию);
- *R\_I* – задание действительной и мнимой части передаточной функции вместо её модуля и фазы.

Ключевое слово *Delay* задаёт дополнительную задержку, которая принимается во внимание при расчёте фазовой характеристики фильтра.

### БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИ МИКРОСХЕМ

Модели в форматах *MDL* и *CKT* могут храниться как по отдельности, по одной в каждом файле, так и группами, в одном файле. Например, для формирования набора моделей цифровых микросхем можно использовать файл

*DIGITAL.LB*, внутри которого содержится описание нескольких микросхем. Начало описания определяется меткой *SUBCKT NAME* (или *MODEL NAME*) и заканчивается командой *ENDS NAME*. При использовании файла с расширением *\*.LB*, его также требуется поместить в структуру проекта, в котором находится библиотека с компонентами. Далее выполняются те же действия, что и при подключении одиночной модели, но теперь при выборе файла *\*.LB* будет доступен перечень моделей, описание которых содержится в файле (см. рис. 9).

Следует обратить внимание, что некоторые поставщики радиокомпонентов поставляют модели в форматах, отличных от перечисленных выше. В этом случае желательно просмотреть модель в обычном текстовом редакторе, и, при наличии в нем команд *SUBCKT* или *MDL*, можно изменить расширение файла на *\*.LB* и использовать по описанной выше методике.

Для описания цифровых микросхем применяется более сложный, специализированный язык системы моделирования *SimCode*. Модель цифровой микросхемы представляет собой описание входов и выходов микросхемы, их взаимосвязей, алгоритма функционирования микросхемы и её электрических характеристик (задержки сигналов, скорость переключения и т.д.) [4]. Язык *SimCode* позволяет при разработке моделей задавать статические и динамические характеристики микросхем, учитывать влияние температуры, напряжения питания и нагрузочную способность ИС. Подробное описание языка *SimCode*, рекомендации по разработке моделей цифровых микросхем и пример модели в исходном тексте приведены в электронной документации *Altium: TR0117 Digital SimCode Reference.pdf*, *AP0139 Creating and Linking a Digital SimCode Model.pdf*.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кеон Дж. OrCAD Pspice. Анализ электрических цепей. Питер, 2008.
2. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. Солон-Пресс, 2009.
3. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. Горячая линия – Телеком, 2003.
4. Татаринов В.Д. К вопросу разработки моделей цифровых микросхем. EDA Express 2007, № 15.
5. Петраков О. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов. Схемотехника 2001, № 2–12; 2002, № 1–3. ©

# IV российская специализированная выставка средств и систем отображения информации

# DISPLAY

30.09 - 02.10

2009

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



## ВСЕШ МИР ДИСПЛЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Санкт-Петербург, ВК "Ленэкспо", 30 сентября - 2 октября 2009 года  
В рамках Санкт-Петербургского инновационного форума и форума "Российский Промышленник"

- Дисплеи и индикаторы
- Компоненты средств отображения
- Электронные модули управления
- Лазерные технологии визуализации
- Проекционное оборудование и системы
- Составные табло, мониторы, дисплеи
- 3D технологии визуализация
- Средства и технологии отображения специального назначения
- Электронная бумага
- Технологии производства и обслуживания средств отображения
- Научные разработки в области дисплейной техники
- Перспективные научные разработки в области средств отображения
- Услуги по созданию комплексных информационных систем

Семинары и конференции по средствам отображения для промышленности, энергетики, транспорта, деловой и городской инфраструктуры, бортовых и встраиваемых применений, торговли, рекламного и развлекательного бизнеса.

# Методы идентификации параметров моделей интегральных транзисторов

## Часть 3. Альтернативные методы идентификации параметров модели биполярных транзисторов

Олег Дворников, Юрий Шульгевич (г. Минск, Беларусь)

Рассмотрены методы идентификации, применение которых целесообразно при наличии типовых справочных данных или особых требований к адекватности модели.

### ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ $\beta$ ОТ ТОКА И НАПЯЖЕНИЯ (пп. 15, 16 ТАБЛИЦЫ 3)

Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером  $\beta$  является основной характеристикой усилительных свойств БТ, в связи с этим его зависимость от коллекторного тока и напряжения  $\beta(I_C, V_C)$  обычно приведена в типовых справочных данных. С практической точки зрения, целесообразно выполнять измерение зависимости  $\beta(I_E, V_C)$ , которую допустимо применять вместо  $\beta(I_C, V_C)$  для определения параметров модели, пос-

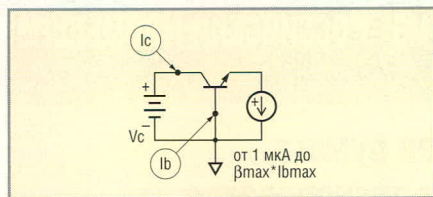


Рис. 22. Схема включения БТ для измерения зависимости  $\beta$  от тока и напряжения

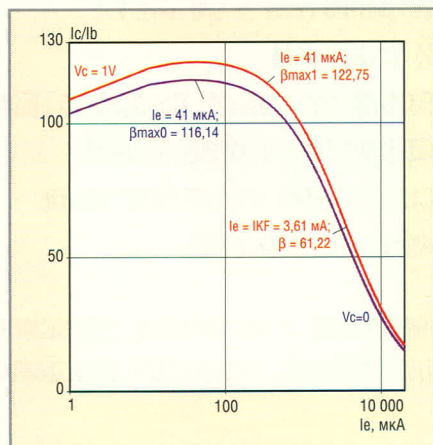


Рис. 23. Зависимость  $\beta$  от эмиттерного тока при  $V_{CB} = 0; 1$  В

кольку в широком диапазоне коллекторных токов обычно выполняется условие  $\beta(I_C, V_C) \approx \beta(I_E, V_C)$ .

Предлагаемый метод идентификации основан на:

- анализе модели Гуммеля–Пуна, который позволил установить, что параметр  $IKF$  соответствует коллекторному току, при котором  $\beta$  составляет от 50 до 65% своего максимального значения;
- соотношениях (65), (74);
- результатах моделирования зависимости  $\beta(I_E)$ , показанных на рисунке 13.

Для идентификации параметров  $BF$ ,  $IKF$ ,  $ISE$ ,  $VAF$  необходимо:

1. Включить БТ в соответствии с рисунком 22;
2. Измерить коллекторный и базовый ток при  $V_{CB} = 0; 1$  В и изменении эмиттерного тока от 1 мкА до максимального возможного значения. Обычно в качестве максимального эмиттерного  $I_{EMAX}$  (коллекторного  $I_{CMAX}$ ) тока принимают величину, равную:

$$I_{EMAX} \approx I_{CMAX} = \beta_{MAX} I_{BMAX}, \quad (93)$$

где, как и ранее,  $I_{BMAX}$  – базовый ток, при котором  $\beta = 0,5\beta_{MAX}$ .

Такое разное определение измеряемых параметров  $I_{BMAX}$ ,  $I_{EMAX}$  объясняется тем, что они описывают разные характеристики БТ. Так, коллекторный ток, соответствующий  $I_{BMAX}$ , а именно, составляющий  $0,5\beta_{MAX} I_{BMAX}$ , приблизительно равен току «излома» зависимости  $I_C(V_{BE})$  для прямого включения, т.е. параметру  $IKF$ . В то же время при максимально возможном эмит-

терном токе коэффициент усиления падает до величины  $\beta \approx 0,25\beta_{MAX}$ , и поэтому  $I_{EMAX}$  описывает область эмиттерных токов, усиление в которой достаточно для большинства применений БТ;

3. Рассчитать величину  $\beta = I_C/I_B$  и построить зависимость  $\beta(I_E, V_C)$  (см. рис. 23);
4. В качестве параметра  $BF$  допустимо принять максимальное значение  $\beta$  при  $V_{CB} = 0$  ( $\beta_{MAX0}$ ). Однако, если известен параметр  $VAF$  и напряжение  $V_{BE}$ , соответствующее  $\beta_{MAX0}$ , то рекомендуется определить  $BF$  по соотношению, полученному из (74), а именно:

$$BF \approx \frac{\beta_{MAX0}}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{VAF}\right)}; \quad (94)$$

5. В области малых и средних эмиттерных токов, для которой графики  $\beta(I_E)$  при  $V_{CB} = 0$  и  $V_{CB} = 1$  В имеют приблизительно одинаковую форму ( $I_E$  в диапазоне от 1 до 100 мкА на рисунке 23), рассчитать параметр  $VAF$  как:

$$VAF = \frac{1}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{VAF}\right) \left(\frac{\beta_1}{\beta_0} - 1\right)} \approx \frac{1}{\frac{\beta_1}{\beta_0} - 1}, \quad (95)$$

где  $\beta_0, \beta_1$  – значение  $\beta$  при одном и том же эмиттерном токе и  $V_{CB} = 0; 1$  В. Если полученные значения отличаются (см. рис. 24) для различных точек кривых  $\beta(I_E)$  при  $V_{CB} = 0$  и  $V_{CB} = 1$  В, то в качестве параметра  $VAF$  принимается максимальная величина;

6. На графике  $\beta(I_E)$  при  $V_{CB} = 1$  В определить эмиттерный ток, при котором величина  $\beta$  падает до значения, равного  $0,5\beta_{MAX1}$ , где  $\beta_{MAX1}$  – максимальное значение  $\beta$  при  $V_{CB} = 1$  В (см. рис. 23). Этот эмиттерный ток допустимо принять в качестве параметра  $IKF$ .

Для исследуемого БТ (см. рисунки 23 и 24)  $\beta_{\text{МАХ0}} = 116,14$ ;  $V_{AR} = 2$  В;  $BF = 177$ ;  $V_{AF} = 26$  В;  $IKF = 3,61$  мА;

7. Выполнить моделирование зависимости  $\beta(I_E, V_C)$  в соответствии со схемой включения и режимом БТ при измерениях. Подобрать параметр  $ISE$  таким образом, чтобы обеспечить наилучшее совпадение результатов измерений и моделирования зависимости  $\beta = \beta(I_E)$  в области малых токов. Уточнить величины  $BF$  и  $IKF$  для совпадения измерений и моделирования в максимуме и на спаде  $\beta = \beta(I_E)$ ;
8. Поменяв местами эмиттер и коллектор транзистора на рисунке 22, измерить эмиттерный и базовый ток при изменении коллекторного тока от 1 мкА до максимально допустимого значения при инверсном включении  $I_{E\text{МАХR}}$  и  $V_{EB} = 0; 1$  В. Аналогичным образом идентифицировать параметры  $BR, IKR, ISC, VAR$ .

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА В СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ (пп. 17, 18 таблицы 3)**

Выходная ВАХ в схеме с общим эмиттером наглядно описывает ра-

боту БТ во всей допустимой области токов и напряжений и поэтому часто приводится в справочных данных. Для регистрации выходной ВАХ применяются измерители параметров полупроводниковых приборов [19, 20], встроенные в осциллографы блоки наблюдения ВАХ [22], а также отдельные электроизмерительные приборы.

Для измерения выходной ВАХ транзистора с ОЭ необходимо:

1. Включить БТ по схеме, показанной на рисунке 25;
2. Измерить зависимость  $I_C = f(V_{CE})$  при  $I_B = 0, 1I_{B\text{МАХ}}$ ;  $0,25I_{B\text{МАХ}}$ ;  $0,5I_{B\text{МАХ}}$ ;  $I_{B\text{МАХ}}$  и изменении напряжения  $V_{CE}$  от 0 до  $V_{CB\text{МАХ}}$  (для исследуемого транзистора  $I_B = 8; 20; 40; 80$  мкА);
3. Поменяв местами эмиттер и коллектор транзистора на рисунке 25, аналогичным образом измерить зависимость  $I_E = f(V_{EC})$  при  $I_B = 0, 1I_{B\text{МАХR}}$ ;  $0,25I_{B\text{МАХR}}$ ;  $0,5I_{B\text{МАХR}}$ ;  $I_{B\text{МАХR}}$  и изменении напряжения  $V_{EC}$  от 0 до  $V_{EB\text{МАХ}}$  (для исследуемого транзистора  $I_B = 60; 150; 300; 600$  мкА);
4. Суммарное количество точек измерений должно быть максимально возможным (см. рисунки 26, 27). Це-

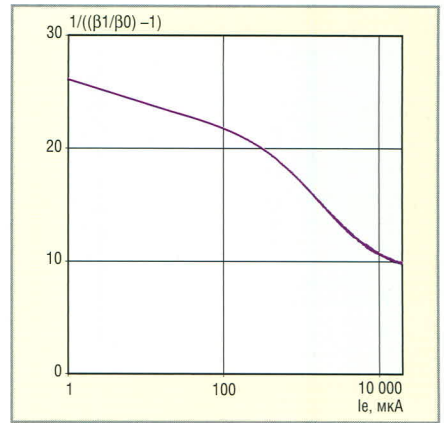


Рис. 24. Зависимость рассчитанного в соответствии с (95) параметра  $IAF$  от эмиттерного тока

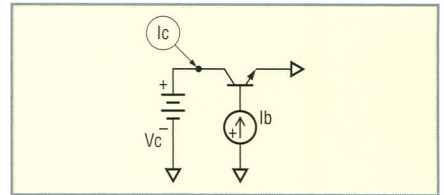
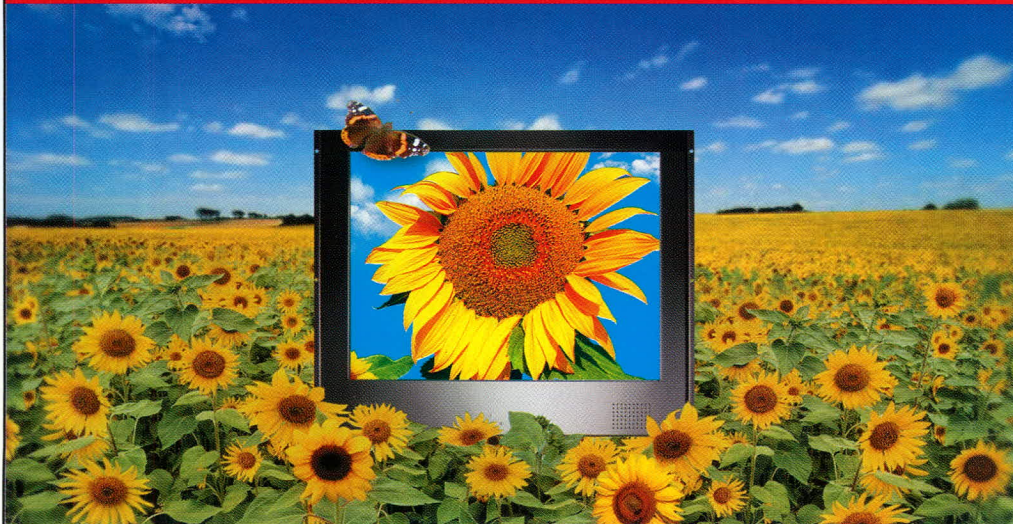


Рис. 25. Схема включения для измерения выходной характеристики БТ с ОЭ

лесообразно дополнительно измерить участок ВАХ при  $0 < V_{CE} < 0,1$  В с минимально возможным приращением напряжения;

**ХОРОШО ПОД СОЛНЦЕМ, ЕСЛИ ТЫ LiteMax!**



- ЖК-дисплеи яркостью от 700 до 1600 нит
- Размеры по диагонали от 10,4 до 31,5"
- Разрешение до 1366x768 (WXGA)
- Угол обзора по вертикали и горизонтали 170°
- Модели для монтажа в панель управления и в настольном исполнении
- Поставляются ЖК-дисплеи со светодиодной подсветкой
- Возможна установка сенсорного экрана, защитного стекла

**Дисплеи сверхвысокой яркости**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



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

Реклама

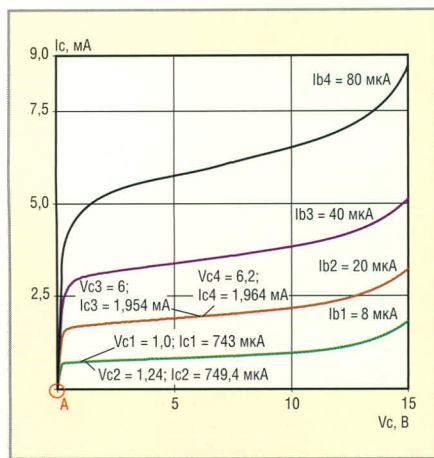


Рис. 26. Выходная ВАХ в схеме с общим эмиттером для прямого включения

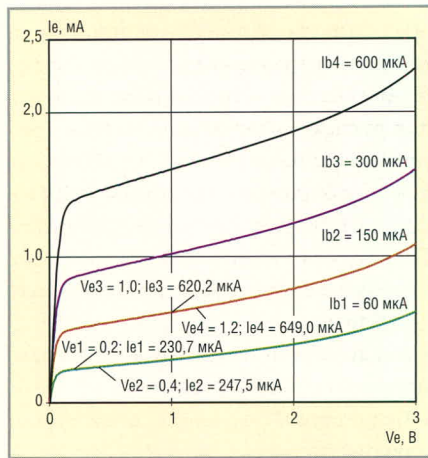


Рис. 27. Выходная ВАХ в схеме с общим эмиттером для инверсного включения

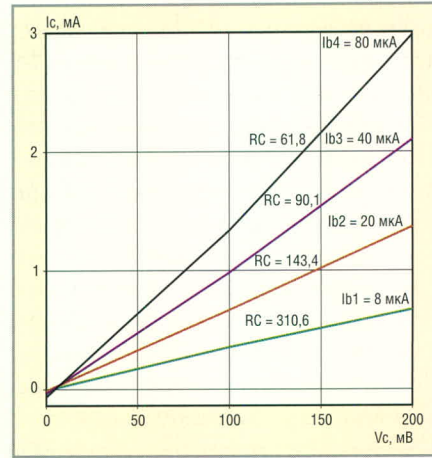


Рис. 28. Участок выходной ВАХ рисунка 26 для определения параметра RC

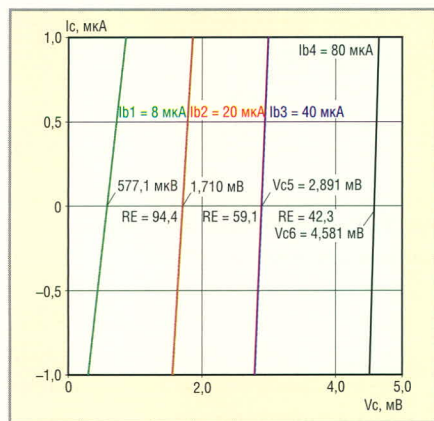


Рис. 29. Участок А выходной ВАХ рисунка 26 для определения параметра RE

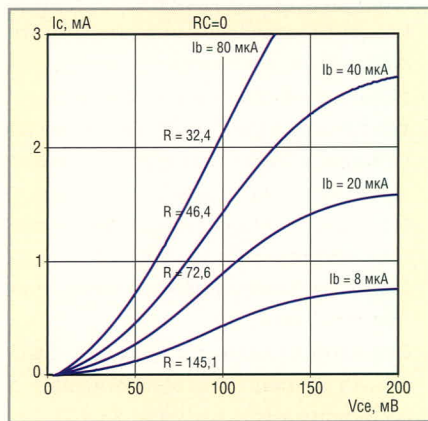


Рис. 30. Результаты моделирования выходной ВАХ при RC = 0

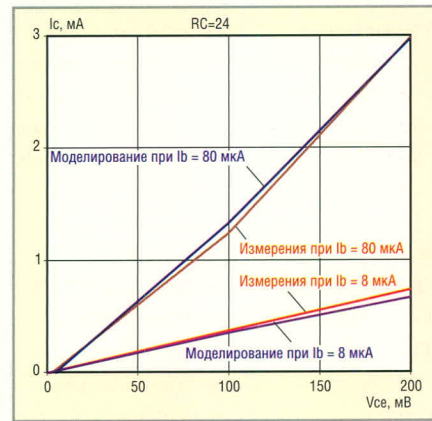


Рис. 31. Результаты измерений и моделирования выходной ВАХ при RC = 24

С помощью результатов измерений выходной ВАХ для прямого включения БТ с ОЭ можно определить:

- напряжение Эрли по соотношению (65), которое для обозначений рисунка 26 примет вид:

$$VAF \approx I_{C1}(V_{C2} - V_{C1}) / (I_{C2} - I_{C1})$$

при  $I_B = \text{const}, |I_{C2} - I_{C1}| \ll I_{C1}$ , (96)

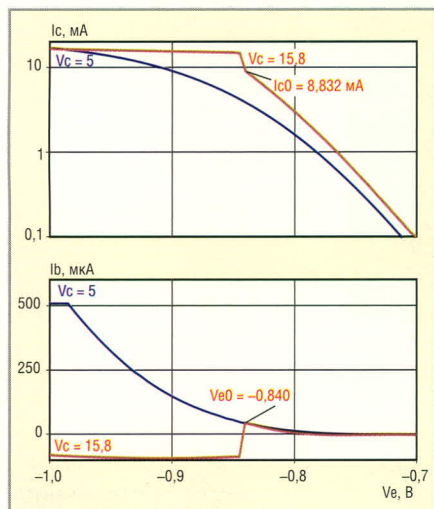


Рис. 32. Результаты измерений характеристики Гуммеля при максимальном коллекторном напряжении

где  $(I_{C2}, V_{C2}), (I_{C1}, V_{C1})$  – координаты рабочей точки на кривых рисунка 26;

- зависимость  $\beta(I_C, V_C)$  в виде набора значений  $\beta(I_{C1}, V_{C1}), \beta(I_{C3}, V_{C3})$  и т.д.:

$$\begin{aligned} \beta(I_{C1}, V_{C1}) &= I_{C1} / I_{B1}, \\ \beta(I_{C3}, V_{C3}) &= I_{C3} / I_{B2}, \end{aligned} \quad (97)$$

по которой возможно определить параметры модели с использованием методов, рассмотренных в п.11;

- сопротивление коллектора RC по тангенсу угла наклона касательной к ВАХ в режиме насыщения (см. рисунок 28);
- сопротивление эмиттера RE по расстоянию между кривыми на начальном участке ВАХ (участок А на рисунке 26 увеличен и показан на рисунке 29):

$$RE = (V_{C6} - V_{C5}) / (I_{B4} - I_{B3}) \text{ при } I_C = 0. \quad (98)$$

Сравнивая соотношения (54) и (96), можно утверждать, что напряжение Эрли, описываемое соотношением (96), представляет собой координату точки

пересечения касательной к ВАХ транзистора с ОЭ в активном режиме работы с осью  $V_C$ , что совпадает с известным качественным представлением  $VAF$  [8].

Величина параметра RE, рассчитанная по ВАХ, показанной на рисунке 29, сильно зависит от режима измерений. Поскольку при определении RE применяются значения  $V_C$ , полученные при  $I_C = 0$ , метод идентификации RE по результатам измерений начального участка ВАХ транзистора с ОЭ аналогичен методу п. 8. В этом случае для уменьшения погрешности целесообразно задавать большие базовые токи, близкие по величине к  $I_{EMAX}$  ( $I_{B3}, I_{B4}$  на рисунке 29 должны быть в диапазоне десятков мА), а для предотвращения потери работоспособности БТ при таких базовых токах следует проводить измерения при  $V_C < 100$  мВ.

Рассчитанная величина сопротивления коллектора RC (см. рис. 28) также существенно зависит от режима работы. Моделирование ВАХ при параметре модели RC = 0 (см. рис. 30) позволило установить, что даже в этом случае наклон графиков разный. В связи с этим рекомендуется идентификацию параметра RC проводить путём подбо-

ра его величины таким образом, чтобы достичь совпадения результатов измерений и моделирования в одинаковых условиях начального участка ВАХ транзистора с ОЭ. На рисунке 31 показано, что удовлетворительное совпадение результатов измерений и моделирования получено при  $RC = 24$ , в то время как значение сопротивления, рассчитанного по наклону этих кривых, составило 61,8 и 310,6 Ом.

**ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГУММЕЛЯ ПРИ МАКСИМАЛЬНОМ КОЛЛЕКТОРНОМ НАПРЯЖЕНИИ (п. 19 ТАБЛИЦЫ 3)**

Целью измерений является регистрация зависимости  $I_C = f(V_{BE})$  при коллекторном напряжении, обеспечивающем выполнение условия  $I_B = 0$  (см. рис. 7), для определения сопротивления эмиттера [15]. Анализ модели Гуммеля–Пуна позволил установить справедливость соотношения:

$$I_C \approx IS \left( 1 - \frac{V_{BE}}{VAR} - \frac{V_{BC}}{VAF} \right) \exp \frac{V_{BE}}{NF_{\Phi T}} \approx IS_0 \exp \frac{V_{BEEXT} - I_B R_B - I_E RE}{NF_{\Phi T}}, \quad (99)$$

$$IS_0 = IS \left( 1 - \frac{V_{BE}}{VAR} - \frac{V_{BC}}{VAF} \right), \quad (100)$$

где, как и ранее, нижний индекс (EXT) обозначает падение напряжения на выводах «внешнего» транзистора.

Введение новой переменной  $IS_0$ , величину которой допустимо определить из результатов измерений, позволяет упростить выражение для коллекторного тока и выделить в нём только факторы, влияющие на отклонение зависимости  $I_C = f(V_{BE})$  от экспоненты в области больших токов. При отсутствии базового тока справедливы соотношения:

$$RE = \frac{V_{BEEXT0} - NF_{\Phi T} \ln \frac{I_{C0}}{IS_0}}{I_{C0}}, \quad (101)$$

$$IS_0 \approx I_{C1} \exp \left( - \frac{V_{BE1}}{NF_{\Phi T}} \right), \quad (102)$$

где  $V_{BEEXT0}$  – измеренное напряжение на прямо смещённом эмиттерном переходе при  $I_B = 0$ ;  $I_{C0}$  – коллекторный ток при  $I_B = 0$ ;  $I_{C1}$  – коллекторный ток, соответствующий напряжению на прямо смещённом эмиттерном переходе, равном  $V_{BE1}$ , при максимальном коллекторном напряжении, в области

малых и средних токов (в которой можно пренебречь падением напряжения на сопротивлениях полупроводниковых областей и влиянием генерации-рекомбинации в ОПЗ).

Таким образом, для идентификации параметра  $RE$  можно рекомендовать:

1. Измерить зависимость  $I_B = f(V_{BE})$  аналогично п. 5 при коллекторном напряжении, меньшем  $V_{CBMAX}$ , и определить величину ограничения базового тока. Так, на рисунке 32 зависимость  $I_B = f(V_{BE})$  зарегистрирована при  $V_{CB} = 5$  В и выбрано ограничение базового тока на уровне 500 мкА;
2. Измерить зависимость  $I_B = f(V_{BE})$  при коллекторном напряжении  $V_{CBMAX}$ , обеспечивающем выполнение условия  $I_B = 0$  ( $V_{CB} = 15,8$  В на рисунке 32). Определить  $V_{BEEXT0}$ ;  $I_{C0}$ ;
3. Измерить  $I_{C1}$ ,  $V_{BE1}$  в области малых и средних токов по графику, соответствующему  $V_{CBMAX}$ , рассчитать переменную  $IS_0$  с помощью соотношения (102) или (100);
4. Рассчитать параметр  $RE$  по соотношению (101).

Для исследуемого БТ:  $V_{CBMAX} = 15,8$  В;  $V_{BEEXT0} = 0,840$  В;  $I_{C0} = 8,83$  мА;  $IS_0 = 3,44 \times 10^{-16}$  А;  $RE = 7,71$  Ом.

- Выводы:
- идентификацию параметров модели Гуммеля–Пуна, описывающих вольт-амперные характеристики, целесообразно проводить на основе электрических измерений с использованием методов, рассмотренных в пп. 4–10;
  - существуют объективные причины, затрудняющие однозначное определение всех параметров модели на основе измерений, главная из которых заключается в том, что все модели только приближённо описывают поведение элементов;
  - рекомендуется настроить параметры модели для совпадения результатов моделирования и измерений характеристик БТ, особо значимых для конкретной области применения [3]. Так, для моделирования прецизионных аналоговых микросхем необходимо настроить параметры  $BF$ ,  $ISE$ ,  $IKF$ ,  $VAF$  по зависимостям  $I_E = f(V_{BE})$  (см. рис. 5а) и  $\beta(I_E, V_C)$  (см. рис. 23); параметры  $RE$ ,  $RC$  – по вольтамперной характеристике для схемы с общим эмиттером в режиме насыщения (см. рис. 28).

Продолжение следует

**ЛИТЕРАТУРА**

22. <http://www.mnpi.by/oczilograf13.html>. ©



**НАДЁЖНЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ**

**Импульсные источники питания**

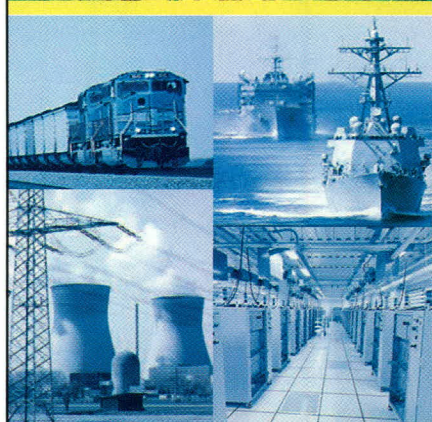
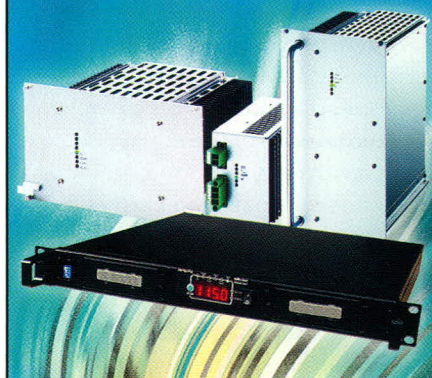
- Преобразователи DC/DC
- Источники питания AC/DC
- Устройства управления зарядом батарей

**Импульсные инверторы**

- Инверторы DC/AC
- Частотные преобразователи

**Области применения**

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



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



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

# Ma hSpice – аналитический PSpice-движок для OrCAD и MicroCAP

## Часть 3. Модели компонентов для аналитических расчётов

Олег Петраков (Москва)

Аналитические модели, в отличие от PSpice-моделей, имеют преимущественно абстрактный характер. Они не содержат чисел, конкретизирующих прибор, а только символы физических параметров и связи между ними. В основе построения таких моделей лежит какая-либо физическая теория явлений, которые используются в приборе. Для расчёта электронных схем с массовым применением приборов следует выбирать максимально простые модели, адекватные поставленным целям. Иначе вы столкнётесь с выражениями колоссального размера, которые трудно исследовать даже в программе Maple.

Однако если вы физик и хотите создать универсальную модель прибора, которую затем предполагается использовать в численном симуляторе, то необходимо строить максимально точную схему прибора, поскольку цель численного моделирования – как можно точнее смоделировать объективную реальность. Это позволяет «проиграть» гораздо больше вариантов построения аппаратуры и избежать стадии макетирования и настроечных работ, что минимизирует затраты разработчика. Вопрос о затратах машинного времени в настоящее время решается относительно просто, т.к. в продаже уже есть персональные суперкомпьютеры ценой \$10 000...60 000. Однако даже «петафлопный» компьютер введёт вас в заблуждение, если вы будете использовать плохие модели и программы.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЕЙ OrCAD и MicroCAP

При использовании математических программ появляется возможность производить аналитические расчёты очень сложных цепей, содержащих как пассивные, так и активные компоненты. Разумеется, активные компоненты должны быть как-то математически представлены, т.е. требуются модели компонентов, пригодные для символьных расчётов. И здесь

надо найти разумный предел сложности моделей. Например, в программе PSpice используется схема замещения биполярного транзистора в виде адаптированной модели Гуммеля–Пуна, которая описывает нелинейные свойства транзисторов при больших сигналах и содержит более 50 параметров. Использовать можно и её, но результаты вы будете получать такие, что анализировать их сущность будет трудно. Возможно использование упрощённых экспоненциальных моделей, которые допускают аналитические исследования нелинейных электрических цепей.

Программы E Solver и MSpice поддерживают около сотни моделей электронных приборов, пригодных для аналитических расчётов и различающихся по уровню сложности. Сложные модели используются при изучении отдельных транзисторных каскадов усиления. Простые модели – при исследовании устройств с массовым использованием транзисторов, когда применение сложных моделей не позволяет получить результат приемлемой сложности. Подробности изложены при описании директивы *Plot-Model()*, с помощью которой можно вводить в проект графическое изображение моделей.

Для ввода аналитических моделей в схему используются стандартные

библиотечные символы OrCAD или MicroCAP. При этом их сущность сохраняется, за исключением применения более простых моделей для полупроводниковых приборов. В свете вышесказанного, в отличие от PSpice, в качестве параметров этих моделей можно использовать не только числа, но и символы (в том числе и формулы). Разумеется, без чисел программа PSpice такие проекты симулировать не будет. Из-за этого в некоторых случаях трансляторы могут выдавать сообщения об ошибках в схеме. Однако NET-листинг они всё равно генерируют правильно. Просто программы MSpice и PSpice позволяют по-разному взглянуть на один и тот же объект. В принципе увидеть мы должны одно и то же, и можно организовать работу так, чтобы контролировать достоверность аналитических расчётов PSpice-моделированием. Это позволяет быть уверенным в достоверности расчётов, которая может быть потеряна, если вы пользовались какими-либо методами упрощения аналитических выражений, связанных с потерей информации.

Все стандартные модели OrCAD и MicroCAP, поддерживаемые MSpice, представлены в таблицах 1 – 5, которые, ввиду большого объёма, размещены на интернет-странице журнала в дополнительных материалах к статье.

### КОНКРЕТИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ Модель биполярного транзистора в режиме малого сигнала

Часто аналитические расчёты носят абстрактный характер. Для разработчика-практика расчётные работы являются лишь промежуточным этапом на пути к изготовлению реального прибора, удовлетворяющего требованиям ТЗ. Так возникает потребность

иметь аналитические модели, соответствующие реальным приборам. Этого обычно требуют задачи синтеза электронных цепей, когда под конкретный прибор рассчитывается внешняя обвязка. В программе PSpice есть обширные библиотеки, где представлены модели электронных приборов ведущих производителей. Однако они не годятся для аналитических расчётов (слишком сложные). Так появляется проблема экстракции моделей реальных приборов для аналитических расчётов. В качестве источника входных данных о приборе можно использовать справочники, фирменную документацию, лабораторные измерения и PSpice-измерения.

В программе PSpice есть все средства для очень точного моделирования электронных приборов, и если вы в качестве исходных данных для построения аналитической модели будете использовать PSpice-модель прибора от надёжного разработчика, то этого будет достаточно. Этим достигается уникальная возможность параллельного контроля результатов аналитического расчёта при помощи PSpice-симулятора. Совпадение результатов для некоторого набора контрольных точек позволяет иметь высокую уверенность в правильности расчётов, которая может потребоваться, если при упрощении аналитических выражений используются методы, приводящие к частичной потере информации.

На рисунке 1 приведена часто используемая малосигнальная модель биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером (см. рис. 2), предназначенная для анализа процессов на переменном токе. Данная модель может использоваться в достаточно широком диапазоне частот (до 1000 МГц).

В модели представлены следующие элементы:

- $GAIN=$  – коэффициент усиления транзистора по току;
- $Rb$  – объёмное сопротивление базы, находящееся в пределах 5...100 Ом;
- $Rc$  – объёмное сопротивление коллектора, находящееся в пределах 0,1...10 Ом;
- $RE$  – объёмное сопротивление эмиттера;
- $Rce$  – выходное сопротивление транзистора, находящееся в пределах 20...100 кОм. Так как оно обычно велико, им часто пренебрегают;
- $Cbc$  – ёмкость коллекторного перехода;

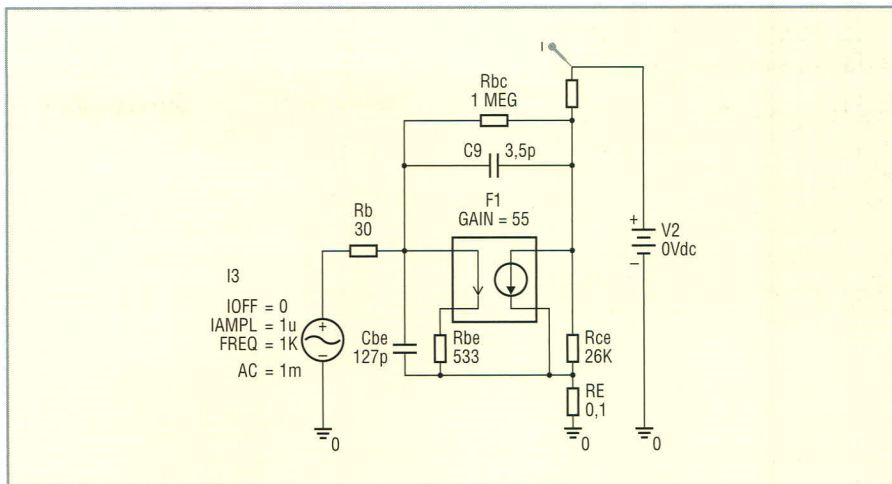


Рис. 1. Схема измерения АЧХ малосигнальной модели транзистора КТ315А

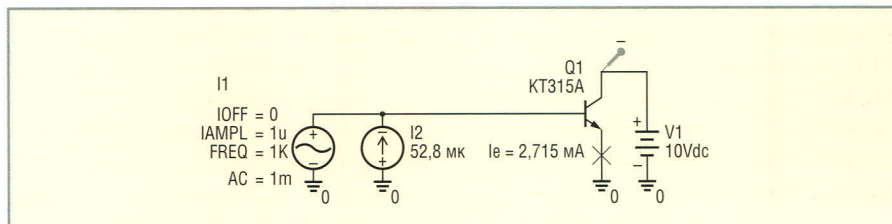


Рис. 2. Схема измерения АЧХ PSpice-модели транзистора КТ315А

- $Rbc$  – сопротивление обратной связи база-коллектор, обычно более 1 МОм, определяемое выражением:

$$Rbc = \frac{Rbe}{b_{12}} ;$$

- $Rbe$  – сопротивление эмиттерного перехода, определяемое выражением:

$$Rbe = \varphi_T(1 + \beta)/i_{\varnothing} \approx \varphi_T\beta/i_{\varnothing},$$

- где  $\varphi_T$  – температурный потенциал;
- $Cbe$  – ёмкость эмиттерного перехода, определяемая выражением:

$$Cbe = \beta/2\pi f_T Rbe,$$

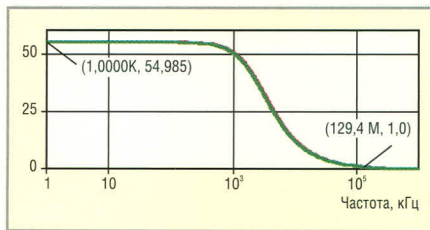
где  $f_T$  – произведение коэффициента передачи на полосу пропускания. Постоянная времени  $Cbe \cdot Rbe$  обуславливает спад усиления по току на высоких частотах.

В примере аналитических расчётов мы будем использовать транзистор КТ315А, PSpice-модель которого представлена ниже:

```
.model KT315A NPN (Bf=108
Br=4.387 Cjc=7p Cje=10p Eg=1.11
Fc=.5 Ikf=.1224 Ikr=20m +
Is=23.68f Isc=900p Ise=23.68f
Itf=40m Mjc=.333 Mje=.333 Nc=1.8
Ne=1.206 Rb=30 + Rc=2.4 Re=0.1
Tf=1n Tr=130.5n TRB1=1 TRC1=1
TRE1=1 TRM1=1 Vaf=60 Vjc=.7 Vje=.7
+ Vtf=80 Xtb=1.5 Xtf=1.1 Xti=3)
```

Построим для этого транзистора малосигнальную схему замещения. При этом мы будем стремиться построить малосигнальный аналог PSpice-модели этого транзистора, чтобы иметь возможность проверить свои аналитические расчёты численным методом. Поэтому мы будем использовать как справочные данные, так и PSpice-измерения. Можно пользоваться только справочником или только результатами измерений по приборам, но тогда вы получите немного другую модель. Данные в разных справочниках могут несколько различаться; здесь допускается разумный произвол. Автор статьи стремился подобрать параметры схемы замещения, соответствующие PSpice-модели, которой он располагает. Программа PSpice моделирует транзисторы весьма точно, что позволяет некоторые лабораторные эксперименты заменить компьютерными.

На рисунках 1 и 2 показаны схемы измерения АЧХ транзистора для PSpice-модели и нашей схемы замещения, которая уже имеет параметры схемы замещения. Видно, что обе АЧХ (см. рис. 3) полностью совпадают. Но это – конечный результат, а нас в данный момент интересует коэффициент усиления по току PSpice-модели транзистора КТ315А и частота  $f_T$ . Средствами графического постпроцессора по графику опреде-



**Рис. 3. АЧХ PSpice-модели и малосигнальной схемы замещения транзистора KT315A**  
Для PSpice-модели на частоте 1 кГц,  $f_T = 129,4$  МГц)

ляем  $B = 55$  (на частоте 1 кГц),  $f_T = 129$  МГц.

Средствами PSpice определим выходное сопротивление транзистора KT315A. Схема измерения выходного сопротивления показана на рисунке 4. В результате моделирования мы получим зависимость тока коллектора транзистора от напряжения коллектора, которое изменяется в диапазоне 0...20 В. Ток базы фиксирован и равен 52,8 мкА, при этом ток эмиттера составит 2,715 мА. Именно в таком режиме транзистор будет использоваться. Чтобы получить график выходного сопротивления, необходимо средствами графического постпроцессора PSpice построить зависимость

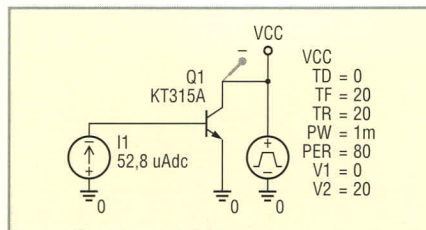
$$1 / \frac{dI}{dU} = R_{ce}.$$

Перед запуском моделирования следует установить время анализа 20 с, величину RELTOL=0.00001, тогда кривая будет гладкой. По графику видим (см. рис. 5), что в рабочей области значение  $R_{ce}$  примерно постоянно и равно 26 кОм.

Значения  $R_c = 2,4$  Ом;  $R_E = 0,1$  Ом;  $R_b = 30$  Ом возьмём непосредственно из PSpice-модели. Ёмкость коллектора определим по справочнику:  $C_{cb,max} = 7$  пФ. Выберем  $C_{cб} = 3,5$  пФ, т.е. в два раза меньше (это справедливо, поскольку нас интересует средний по своим параметрам транзистор этого типа). Выберем  $R_{cб} = 1$  МОм. Далее воспользуемся программой Maple для расчёта  $C_{be}$  и  $R_{be}$ :

```

Программа идентификации модели
биполярного транзистора
> restart: # сброс всех переменных
Используя выражения () и (), запишем.
> Cbe:=beta/(2*Pi*ft*Rbe);
> Rbe:=Vt*(1+beta)/Ie;
> Vt:=k*T/e; # температурный потенциал
Vt:=kT/e
Ввод исходных данных:
    
```



**Рис. 4. Схема измерения выходной характеристики PSpice-модели транзистора KT315A**

```

> with(ScientificConstants): #
подключение пакета для работы с
константами
> Constant(e): e:=GetValue(%); #
заряд электрона
e:=0.1602176462 10-18
> Constant(k): k:=GetValue(%); #
константа Вольцмана
k:=0.1380650277 10-22
> T:=273+27: # температура по
Кельвину
> beta:=55: # коэффициент усиления
по току
> Ie:=2.715e-3: # ток эмиттера
> ft:=129.4e6: # произведение
усиление-частота.
Вывод результатов:
> Rbe:=Rbe; Cbe:=evalf(Cbe);
Rbe:=533.2278018
Cbe:=0.1268632286 10-9
> # END
    
```

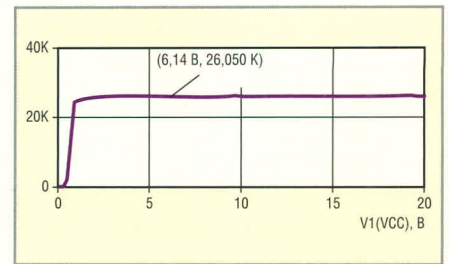
Таким образом, можно принять  $R_{be} = 533$  Ом,  $C_{be} = 127$  пФ.

Заметим, что программа Maple освободила нас от поиска величин и ввода констант при расчёте температурного потенциала. В программе содержатся практически все известные физике константы и справочник, что очень удобно.

В результате мы получим следующий список параметров малосигнальной схемы замещения:

- $GAIN = 55$ ,  $R_c = 2,4$  Ом;  $R_E = 0,1$  Ом;  $R_b = 30$  Ом – взяты из описания PSpice-модели KT315A;
- $R_{ce} = 26$  кОм – вычислен по PSpice-модели KT315A;
- $R_{bc} = 1$  МОм – взят приблизительно;
- $C_{bc} = 3,5$  пФ – среднее значение из справочника;
- $R_{be} = 533$  Ом,  $C_{be} = 127$  пФ – вычислены по формулам, приведённым в листинге.

Следует отметить, что многие элементы схемы замещения, в зависимости от схемы включения транзистора, можно исключить, т.к. они мало влияют на результаты. В примере, который будет рассмотрен ниже, можно исклю-



**Рис. 5. График выходного сопротивления модели KT315A**

чить  $R_b$ ,  $R_c$ ,  $R_E$ ,  $R_{bc}$ ;  $R_c$  следует учитывать только при работе транзистора в режиме насыщения и вблизи него,  $R_b$  и  $R_E$  чаще всего ничтожно малы;  $R_{bc}$  очень велико для современных транзисторов. Упрощённые схемы замещения биполярного транзистора показаны на рисунке 6. На рисунках бв и бг показаны схемы замещения, удобные для расчёта усилителя по схеме с общей базой (ОБ). Здесь  $\alpha = \beta / (1 + \beta)$ ,  $R_E = I_e / V_t$ ,  $R_{be} = V_t (1 + \beta) / I_e$ , где  $\beta$  – коэффициент передачи по току в схеме ОЭ,  $\alpha$  – коэффициент передачи по току в схеме с ОБ,  $I_e$  – ток эмиттера,  $V_t$  – температурный потенциал. Остальные элементы получают аналогично, как и для исходной модели. Для расчётов каскадов с ОБ достаточно упрощённой схемы замещения, приведённой на рисунке бг.

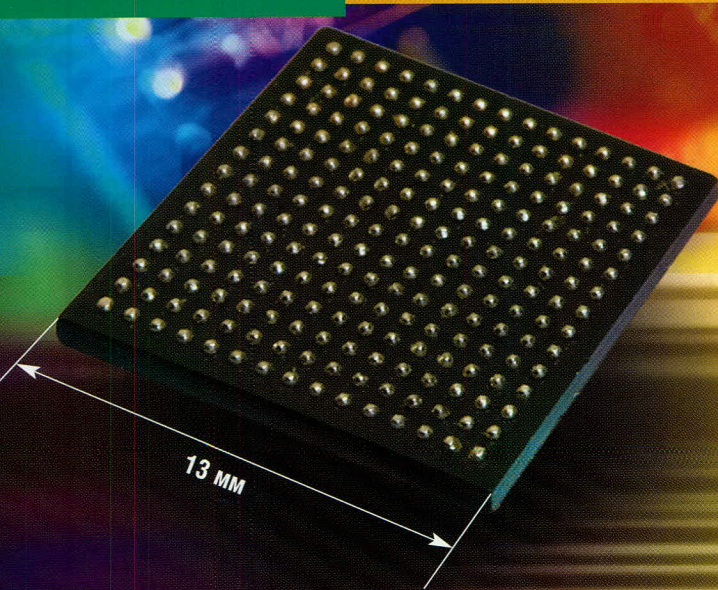
Вообще при символьных вычислениях стремитесь использовать максимально простые модели – это позволит получать выражения умеренной сложности. Перед началом аналитических расчётов проанализируйте схему и без сожаления избавьтесь от несущественных для решаемой задачи элементов и их моделей.

Мы этого делать не будем, поскольку наши примеры аналитических расчётов будут достаточно простыми, кроме того, автор стремится добиться точного совпадения результатов аналитических расчётов с PSpice-моделированием. Читатели могут проверить степень влияния сложности схем замещения на символьные результаты и сделать собственные выводы. Заметим, что увеличение сложности получаемых аналитических результатов может носить «взрывной» характер при, казалось бы, незначительных усложнениях схемы (например, при появлении новых обратных связей или введении нелинейности в модель активного компонента).

**Модель полевого транзистора в режиме малого сигнала**

Рассмотрим часто используемую малосигнальную модель полевого

## НОВЫЙ X86 МИКРОКОНТРОЛЛЕР RDC HB301



### Технические характеристики

- 300-МГц 32-бит RISC-ядро
- Совместимость с архитектурой 80486SX
- 16 Кб кэш первого уровня
- Двухпортовый хост-контроллер USB 2.0
- Контроллер PCI rev. 2.1
- 2 контроллера Fast Ethernet MAC
- Интегрированная периферия
  - контроллер прерываний
  - контроллер DMA
  - таймеры
- Встроенный контроллер памяти SRD/DPR/DPR2
- 25 портов ввода-вывода общего назначения
- Поддержка Windows, DOS, Linux и других ОС
- Питание ядра 1,2 В, подсистемы ввода/вывода 1,8 В; 3,3 В
- Корпус 3GA225

### Основные достоинства

- Совместимость с популярной x86-архитектурой
- Обширные периферийные возможности
- Низкие затраты на разработку ПО
- Невысокая стоимость

### Области применения

- Промышленные компьютеры
- Системы сбора данных
- Оборудование для коммуникаций: коммутаторы пакетов, точки доступа, локальные маршрутизаторы и т.д.



**Доступен набор для разработчиков и полный комплект технической документации**

**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ, СТРАН СНГ И БАЛТИИ**

**PROSOFT®**

**АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

Телефон: (495) 232-2522 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru

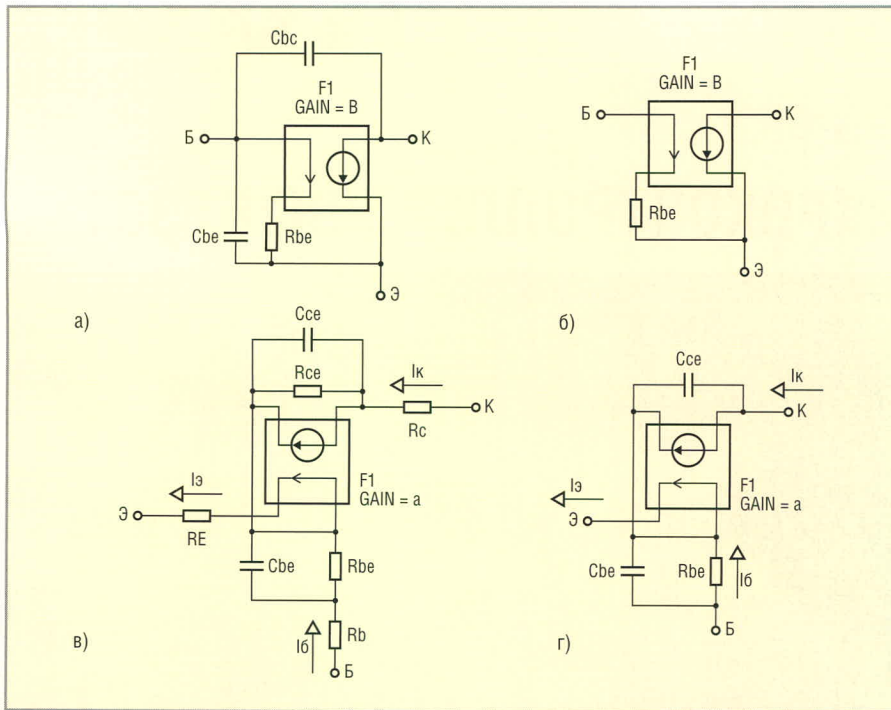


Рис. 6. Упрощённые модели типового биполярного транзистора

а) частотно-зависимая; б) идеальная, частотно-независимая; в) схема замещения для расчёта схем с ОБ; г) упрощённая схема замещения для расчёта схем с ОБ

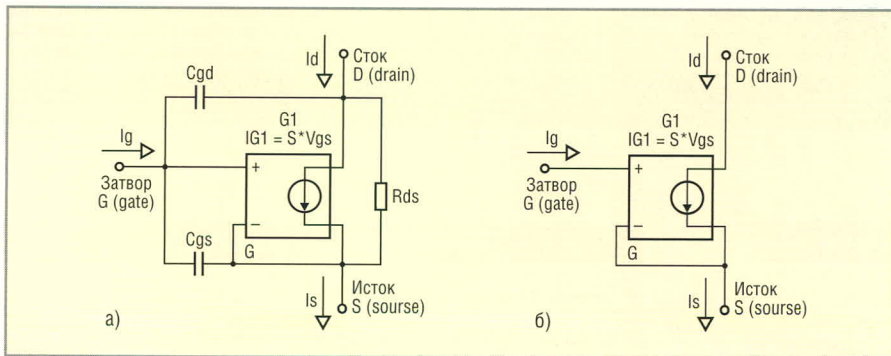


Рис. 7. Упрощённые модели типового полевого транзистора с управляющим р-п-переходом (Junction FET)

а) частотно-зависимая; б) идеальная, частотно-независимая

транзистора с управляющим р-п-переходом (см. рис. 7а), предназначенную для анализа процессов на переменном токе.

Малосигнальная схема замещения содержит семь параметров:

- $GAIN = S$  – крутизна характеристики;
- $RG$  – сопротивление затвора;
- $RS$  – сопротивление истока;
- $RD$  – сопротивление стока;

- $Rds$  – внутреннее сопротивление транзистора;
- $Cgs$  – ёмкость между затвором и истоком;
- $Cgd$  – ёмкость между затвором и стоком.

В примере аналитических расчётов мы будем использовать транзистор КП303В, PSpice-модель которого представлена ниже:

```
.model J2P303B NJF(Vto=-0.8137
Beta=2.015m Lambda=17.89m Rs=1
Rd=1 + Cgs=4.2p Cgd=3.8p Fc=0.5
Pb=1 Is=10f)
```

Построим для КП303В малосигнальную схему замещения. При этом мы также будем стремиться построить малосигнальный аналог Pspice-модели этого транзистора, чтобы иметь возможность проверить свои аналитические расчёты численным методом.

Найдём крутизну транзистора КП303В при токе стока 1,11 мА ( $Vg = -11$  мВ). На рисунке 8 показана схема измерения проходной характеристики PSpice-модели транзистора КП303В. После моделирования мы получим график зависимости тока стока от напряжения на затворе, т.е. проходную характеристику. Крутизна определится выражением  $S = dI_C/dV_{ЗИ}$  при напряжении  $V_{ЗИ} = -11$  мВ (ток стока  $I_d = 1,11$  мА). Это можно сделать средствами графического процессора с помощью функции дифференцирования графиков  $DO$ .

Средствами PSpice определим выходное сопротивление транзистора КП303В по схеме, показанной на рисунке 9. В результате моделирования мы получим зависимость тока стока от напряжения стока, которое изменяется в диапазоне 0...20 В. Напряжение на затворе фиксировано и равно  $-111$  мВ, при этом ток стока составит 1,11 мА. Именно в таком режиме транзистор будет использоваться в нашем примере. Чтобы получить график выходного сопротивления, необходимо средствами графического постпроцессора PSpice построить зависимость:

$$1/\frac{dI}{dU} = Rdc.$$

Перед запуском моделирования следует установить время анализа 20 с и величину RELTOL = 0.00001, тогда кривая будет гладкой. По графику ви-

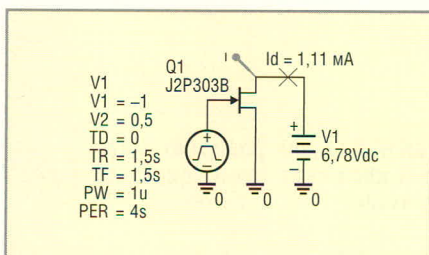


Рис. 8. Схема измерения проходной характеристики PSpice-модели транзистора КП303В

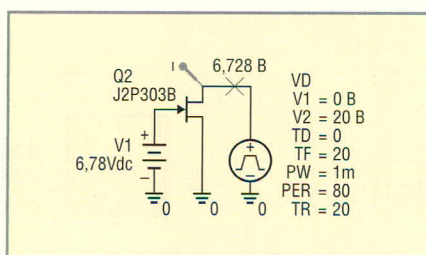


Рис. 9. Схема измерения выходной характеристики PSpice-модели транзистора КП303В

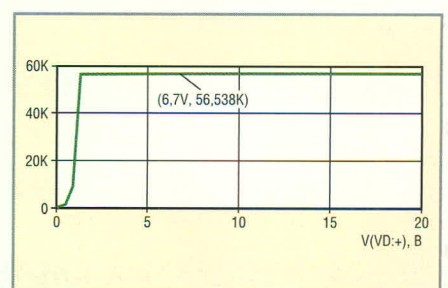
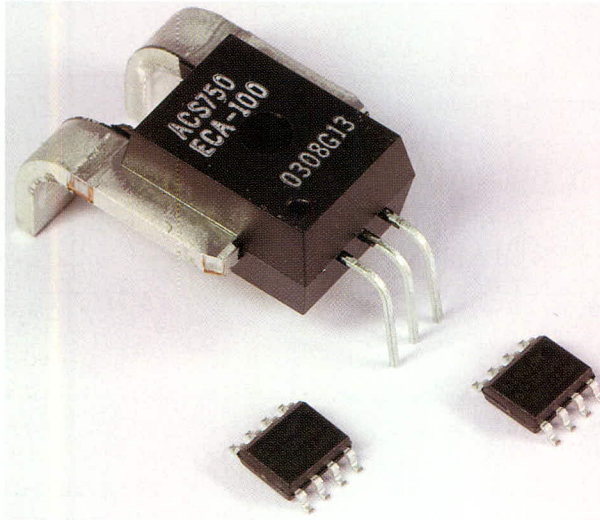


Рис. 10. График выходного сопротивления  $Rds$  PSpice-модели КП303В

# Датчики тока на эффекте Холла



## Параметры датчиков тока Allegro

Наименование	ный измеряемый ток, А	измерения, кГц	тельность, мВ/А	Корпус
ACS706ELC-05C	±15	50	133	
ACS706ELC-20A	±20	50	100	
ACS712ELCTR-05B-T	±5	50	185	
ACS712ELCTR-20A-T	±20	50	100	
ACS712ELCTR-30A-T	±30	50	66	
ACS754xCB-050	±50	35	40	
ACS754xCB-100	±100	35	20	
ACS754xCB-200	±100	35	10	

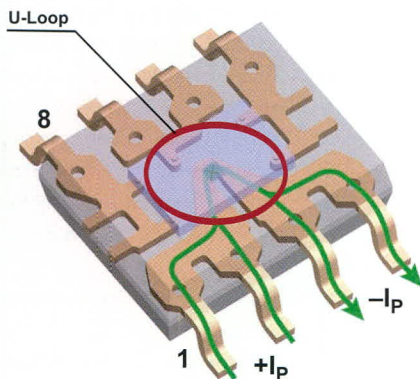


Схема протекания тока в датчике ACS704 и конструкция токовой шины

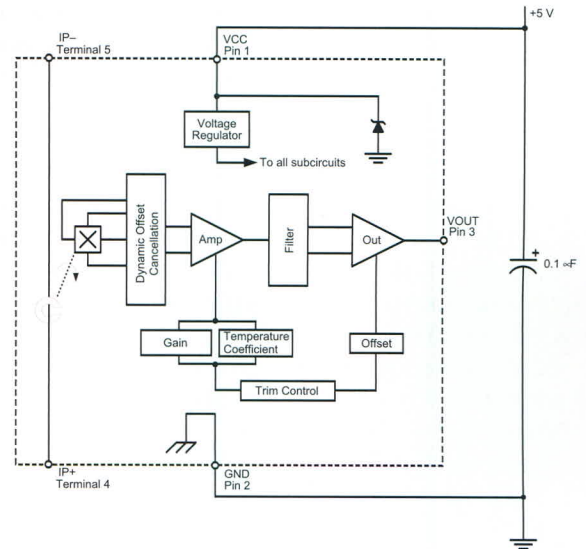
## ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА

- Диапазон измеряемых токов ±5... ±200А
- Сверхнизкое сопротивление токовой шины
- Хорошая линейность
- Полоса частот до 50 кГц
- Промышленный диапазон температур -40... +85 °С
- Напряжение изоляции до 3КВ

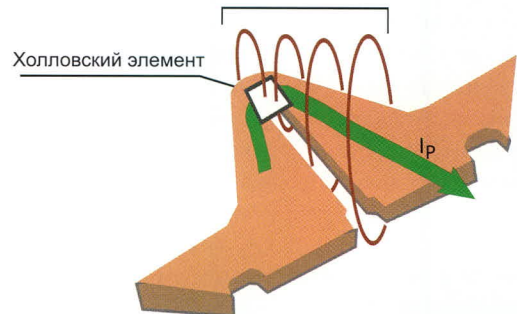
## Области применения

- Источники вторичного электропитания
- Корректоры коэффициента мощности
- Автоэлектроника
- Системы промышленной автоматки
- Бытовая электроника

## Конструкция датчиков тока Allegro



Магнитный поток, порождаемый протекающим в шине током



Конструкция токовой шины и элемент Холла в датчике ACS704

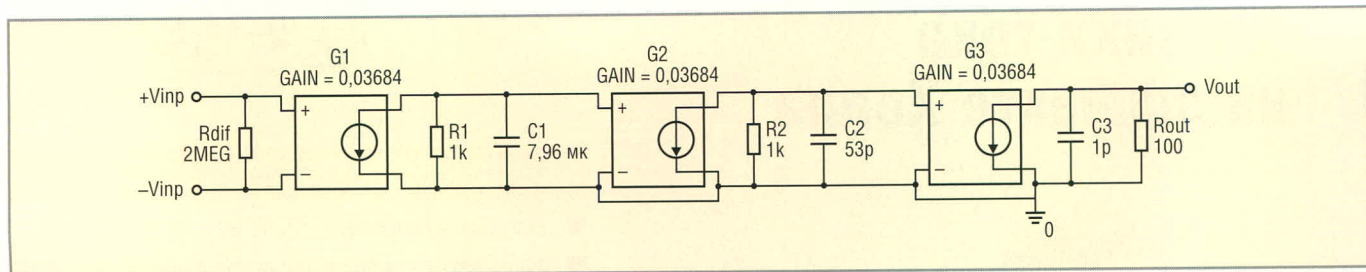


Рис. 11. Частотно-зависимая двухполюсная схема замещения операционного усилителя К140УД6А

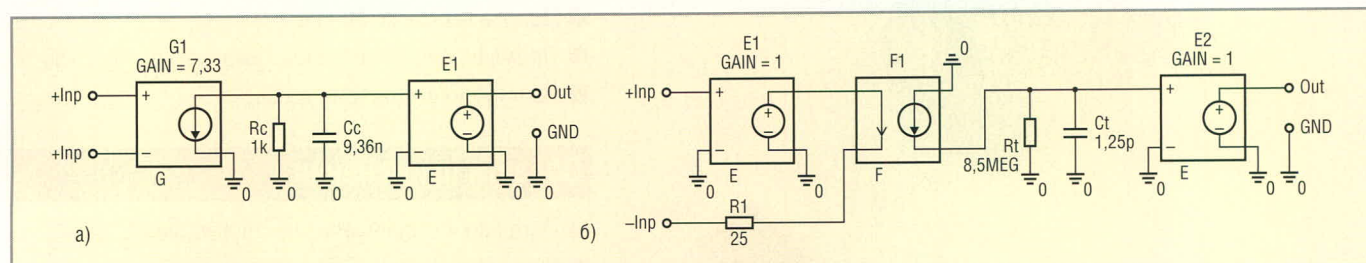


Рис. 12. Частотно-зависимые однополюсные модели операционных усилителей НОС (а) и ТОС (б)

дим (см. рис. 10), что в рабочей области величина  $R_{ds}$  примерно постоянна и равна 56,538 кОм. В эту величину входят также сопротивления  $R_d$  и  $R_s$ . Поэтому для эквивалентной схемы (см. рис. 7а), если быть точнее,  $R_{ds} = (R_{ds_{изм}} - R_d - R_s) = 56\,538 - 1 - 1 = 56\,536$  Ом. Очевидно, что это – ничтожная поправка.

Теперь мы имеем следующий список параметров малосигнальной схемы замещения полевого транзистора КП303В:

- $GAIN = 0.00316 A/B$  – крутизна, вычисленная по PSpice-модели КП303В;
- $R_{ds} = 56,536$  кОм – вычислено по PSpice-модели КП303В;
- $R_d = 1$  Ом,  $R_s = 1$  Ом – взяты из описания PSpice-модели КП303В;
- $C_{gs} = 4$  пФ,  $C_{gd} = 1,35$  пФ – средние значения, взятые из справочника.

Как и в случае с биполярным транзистором, некоторые элементы схемы замещения полевого транзистора с управляющим p–n-переходом можно безболезненно исключить, например,  $R_d$  и  $R_s$  (конечно, если они действительно малы);  $R_{ds}$  тоже можно исключить (а если немного уменьшить крутизну, то можно добиться практически полного совпадения результатов аналитического анализа с результатами анализа PSpice-анализа). Упрощённые схемы замещения полевого транзистора с управляющим p–n-переходом показаны на рисунке 7. Этих схем вполне достаточно для описания ПТ в частотной области, а идеальная частотно – независимая модель (см. рис. 7б) полезна для анализа влияния внешних цепей на формирование

АЧХ без учёта качества транзистора или если транзистор используется на частотах много ниже граничной частоты.

**Модель операционного усилителя в режиме малого сигнала**

При абстрактных аналитических расчётах чрезвычайно эффективна идеальная модель ОУ на основе ИНУН, которая может использоваться в широком диапазоне частот для изучения влияния внешних цепей на конечный результат, без учёта свойств ОУ (на низких частотах). Дополнительно к ней мы предложим несколько частотно-зависимых линейных моделей ОУ, рассчитанных по паспортным данным, которые можно использовать в качестве схем замещения реальных ОУ.

Первая схема замещения ОУ представляет собой три последовательно включенные линейные зависимые источника тока, нагруженные на RC-цепи, отображающие его частотные характеристики (см. рис. 11). Токи зависимых источников равны  $I_1 = S_1 \cdot V_{inp}$ ,  $I_2 = S_2 \cdot V_{R1}$ ,  $I_3 = S_3 \cdot V_{R2}$ , где  $V_{inp}$  – напряжение на входе ОУ,  $V_{R1}$  и  $V_{R2}$  – напряжения на резисторах  $R_1$  и  $R_2$  соответственно. Коэффициенты усиления по напряжению трёх звеньев  $A_1 = GAIN_1 \cdot R_1$ ,  $A_2 = GAIN_2 \cdot R_2$ ,  $A_3 = GAIN_3 \cdot R_3$  полагаются равными.

Коэффициент передачи ОУ по постоянному току равен  $A_0 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$ , а передаточная функция:

$$K(s) = \frac{A_0}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

где:  $T_1 = 1/2\pi F_1$ ,  $T_2 = 1/2\pi F_2$ ,  $F_1$  и  $F_2$  – частота первого и второго полюсов.

Внутренние параметры модели операционного усилителя определяются по справочным данным в соответствии со следующими соотношениями:

$$A_1 = A_2 = A_3 = \sqrt[3]{A_0}$$

- $GAIN_1 = A_1/R_1$ ,
- $I_1 = GAIN_1 \cdot V_{inp}$ ,
- $C_1 = 1/2\pi F_1 R_1$ ,
- $GAIN_2 = A_2/R_2$ ,
- $I_2 = GAIN_2 \cdot V_{inp}$ ,
- $C_2 = 1/2\pi F_2 R_2$ ,
- $R_3 = R_{out}$ ,
- $GAIN_3 = A_3/R_3$ ,
- $I_3 = GAIN_3 \cdot V_{R2}$ .

Часть параметров полагается постоянными:  $R_1 = R_2 = 1$  кОм,  $C_3 = 1$  пФ.

Таким образом, частотно-зависимую модель ОУ можно идентифицировать, пользуясь пятью параметрами. В таблице 2 приведены данные на некоторые отечественные ОУ, которые можно найти в справочниках. Программа идентификации написана на Maple (см. листинг). Параметризованная схема замещения ОУ типа К140УД6А показана на рисунке 11.

Программа идентификации модели ОУ

```
> restart;
Используя вышеуказанные выражения
для ОУ, запишем:
> GAIN1:=A1/R1:
> GAIN2:=A2/R2:
> GAIN3:=A3/Rout:
> C1:=1/(2*Pi*F1*R1):
> C2:=1/(2*Pi*F2*R2):
> A1:=A0^(1/3): A2:=A1: A3:=A1:
```

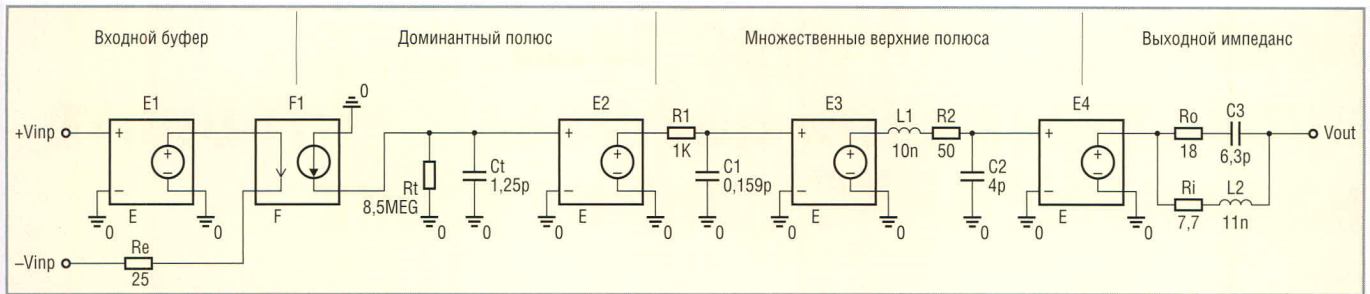


Рис. 13. Точная многополюсная линейная модель ТОС ОУ типа THS3001

Параметры, принятые постоянными:

```
> R1:=1e3;
> R2:=1e3;
> C3:=1e-12;
Ввод паспортных данных ОУ:
> A0:=50e3: # Коэффициент усиления ОУ на постоянном токе
> F1:=20: # Частота первого полюса
> F2:=3e6: # Частота второго полюса
> Rinp:=2e6: # Дифференциальное входное сопротивление
> Rout:=100: # Выходное сопротивление
```

```
Вывод результатов:
> T1:=evalf(1/(2*Pi*F1)):
T2:=evalf(1/(2*Pi*F2)):
>
K(s):=evalf(A0/((1+s*T1)*(1+s*T2)));
> GAIN1:=GAIN1; GAIN2:=GAIN2;
GAIN3:=GAIN3; C1:=evalf(C1);
C2:=evalf(C2);
Rinp:=Rinp; Rout:=Rout;
GAIN1:=0.368403149
GAIN2:=0.368403149
GAIN3:=0.368403149
C1:=0.795774715210-5
C2:=0.530516476610-10
Rinp:=0.2107
Rout:=100
> # END
```

Следующие две однополюсные модели ОУ предназначены для изучения основных свойств ОУ разных типов в частотной области. На рисунке 12а представлена простая модель НОС ОУ (ОУ с обратной связью по напряжению). Частота доминантного полюса определяется выражением  $f_D = 1/2\pi R_C C_C$ . На рисунке 12б представлена простая модель ТОС ОУ (ОУ с обратной связью по току); его принято называть трансимпедансным ОУ, поскольку его коэффициент передачи определяется выражением  $K = U_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$  и измеряется в омах [9]. Частота доминантного полюса определяется выражением  $f_D = 1/2\pi R_C C_C$ .

Параметры схем замещения выбраны так, чтобы примерно соответствовать реально существующим ОУ типа THS4001 (см. рис. 12а) и THS3001 (см. рис. 12б).

Последняя схема замещения является точной частотно-зависимой многополюсной моделью ТОС ОУ типа THS3001 (см. рис. 13). Она построена на основе анализа схемотехники, лабораторных измерений и паспортных данных этого ОУ. Усилители этого типа используются в широкой полосе частот, поэтому в уточнённой модели отражены верхние частотные полюса, входной и выходной импеданс. Это – самая сложная из описанных нами моделей.


Основные параметры ОУ типа THS3001:

- трансимпеданс по постоянному току 138,5 дБ·Ом = 8,5 МОм;
- доминирующий полюс около 15 кГц;
- множество верхних полюсов лежат выше 200 МГц.



Ещё раз отметим, что все описанные модели можно использовать не только для символического, но для численного анализа в PSpice. Характерно, что рассмотренные в статье модели транзисторов и ОУ легко рассчитываются по паспортным данным и прозрачны для понимания. Их можно использовать в PSpice, если возникают трудности с идентификацией моделей активных приборов средствами PSpice. Используя эти модели для получения аналитических решений, вы имеете возможность контролировать достоверность некоторых из них с помощью PSpice, что весьма удобно. Опыт показывает, что точность получаемых в PSpice значений с помощью графического постпроцессора зависит от выбора параметров моделирования. Например, поиск Gmax при анализе АЧХ в PSpice при различных параметрах моделирования может давать каждый раз близкие, но всё-таки разные значения. Программа Maple работает гораздо точнее PSpice, но полного

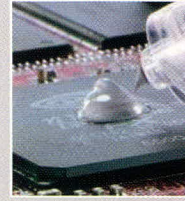
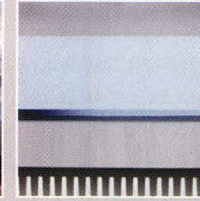
совпадения результатов (до 10 знака) вы всё равно не увидите.

Продолжение следует



**KERAFOL®**  
Качество из Германии





- Керамические мягкие пленки для отвода тепла
- Теплопроводные пасты для заполнения зазоров
- Клеи, компаунды
- Графитовые, ферритовые пленки

**KERATHERM®**  
Материалы для отвода тепла

Официальный дистрибьютор в России:  
**ЗАО «РЕОМ СПб»**



Тел./Факс: (812) 327-96-60,  
387-55-06, 387-65-64,  
387-86-94

E-mail: reom@reom.ru  
Web: www.reomspb.ru

Россия, 196105, Санкт-Петербург,  
просп. Ю. Гагарина, д. 1

# Практический курс сквозного проектирования цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx

(часть 25)

Валерий Зотов (Москва)

В двадцатой пятой части курса рассматриваются способы программирования микросхем флэш-памяти с параллельным и последовательным интерфейсом, выпускаемых различными производителями и поддерживаемых модулем *iMPACT* САПР серии Xilinx ISE. Описан процесс непосредственной загрузки конфигурационных данных в последовательные ППЗУ и обратного считывания информации через интерфейс SPI, а также программирования, осуществляемого через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA. Приводятся необходимые сведения о выполнении операций программирования конфигурационной флэш-памяти с параллельным интерфейсом BPI.

## Способы программирования микросхем конфигурационной флэш-памяти с параллельным и последовательным интерфейсом

Модуль программирования *iMPACT*, входящий в состав пакета САПР серии Xilinx ISE, позволяет не только загружать конфигурационную последовательность данных в ПЛИС и записывать соответствующую информацию в ПЗУ/ППЗУ, выпускаемые фирмой Xilinx, но и осуществлять программирование микросхем флэш-памяти с параллельным и последовательным интерфейсом от различных производителей. Для выполнения этих операций не требуется дополнительных аппаратных средств (программаторов) – достаточно одного из стандартных загрузочных кабелей, предназначенных для конфигурирования ПЛИС. В настоящее время в модуле программирования *iMPACT* предусмотрена возможность записи конфигурационных данных в микросхемы флэш-памяти с последовательным интерфейсом семейств AT45DB, выпускаемые фирмой Atmel, а также семейств MP25P, M25PE и MP45PE, производимых компанией STMicroelectronics (или фирмой Numonux, образованной в результате слияния отделившихся подразделений компаний Intel и STMicroelectronics).

Процесс программирования элементов конфигурационной флэш-памяти

с последовательным интерфейсом SPI может осуществляться двумя способами. При использовании первого метода (метода прямого программирования) загрузочный кабель подключается непосредственно к контактам порта SPI-интерфейса микросхемы ППЗУ. Второй способ (косвенный метод) заключается в применении ПЛИС, к которой подключен элемент конфигурационной флэш-памяти, в качестве своеобразного моста между JTAG-интерфейсом кристалла FPGA и интерфейсом SPI данного элемента запоминающего устройства. Для этой цели разработан и скомпилирован соответствующий проект (ядро). Этот проект автоматически загружается в ПЛИС при выборе соответствующего режима работы модуля программирования *iMPACT*. Для реализации косвенного метода программирования микросхем флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI используется режим периферийного сканирования *Boundary Scan* (JTAG) *Mode* модуля *iMPACT*.

Запись конфигурационной последовательности данных в микросхемы флэш-памяти с параллельным интерфейсом BPI может осуществляться с помощью модуля программирования *iMPACT* только косвенным методом. При его использовании в ПЛИС, к которой подключен элемент параллельного конфигурационного ППЗУ, автоматически загружается проект (ядро), реализующий функции моста

между JTAG-интерфейсом кристалла FPGA и интерфейсом BPI. Модуль программирования *iMPACT* позволяет осуществлять операции записи конфигурационных данных в микросхемы флэш-памяти с параллельным интерфейсом семейства 28F, выпускаемые фирмой Intel (или Numonux), и ППЗУ других производителей, полностью совместимые с элементами этого семейства.

Из всех семейств кристаллов с архитектурой FPGA, доступных к моменту подготовки данной публикации, косвенный метод программирования элементов конфигурационной флэш-памяти с последовательным и параллельным интерфейсом поддерживался ПЛИС семейств Spartan-3A, Spartan-3AN, Spartan-3A DSP, Virtex-5 LX, Virtex-5 LXT, Virtex-5 SXT, Virtex-5 FXT и Virtex-5 TXT. Кристаллы новых семейств Spartan-6 LX, Spartan-6 LXT, Virtex-6 LX и Virtex-6 SXT, серийное производство которых начато в начале текущего года, также поддерживают этот способ программирования конфигурационных флэш-ППЗУ. Но при этом следует учитывать, что ПЛИС серий Virtex-6 и Spartan-6 поддерживаются только новой версией системы проектирования Xilinx ISE (Integrated Software Environment/Integrated Synthesis Environment) Design Suite 11, которая уже сейчас доступна разработчикам.

## Подключение загрузочного кабеля для прямого программирования элементов конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI и обратного считывания конфигурационной и статусной информации

Для непосредственного программирования элементов конфигурационной флэш-памяти с последовательным

интерфейсом SPI и обратного считывания конфигурационной и статусной информации на печатной плате разрабатываемого устройства (или на отладочной плате) должен быть предусмотрен разъём, к которому подключаются выводы порта SPI-интерфейса используемого ППЗУ. Все загрузочные кабели, выпускаемые фирмой Xilinx, комплектуются переходным шлейфом с отдельными гибкими выводами, который удобно использовать для прямого программирования микросхем флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI.

Используемый загрузочный кабель JTAG-интерфейса с указанным переходным шлейфом следует подключить к свободному порту компьютера, для которого он предназначен, а затем гибкие выводы шлейфа присоединить к соответствующим контактам порта SPI-интерфейса используемого ППЗУ. Для программирования микросхем флэш-памяти, выпускаемых компанией Atmel, необходимо соединить сигнальный контакт TMS/PROG загрузочного кабеля с выводом /CS\_N ППЗУ, контакт TDI/DIN – с выводом SI, контакт TDO/DONE – с выводом SO, контакт TCK/CCLK – с выводом SCK. Контакты GND/GND и VREF/VREF загрузочного кабеля следует подключить к выводам микросхем флэш-памяти GND и VCC соответственно. Если в качестве элемента конфигурационной памяти применяется микросхема фирмы STMicroelectronics (или Numonux), то контакт загрузочного кабеля TDI/DIN должен быть присоединён к выводу S\_N ППЗУ, контакт TDO/DONE – к выводу D, контакт TDO/DONE – к выводу Q, контакт TCK/CCLK – к выводу C. Выводы ПЛИС, подключенные к порту SPI-интерфейса программируемой микросхемы флэш-памяти, должны быть переведены в высокоимпедансное состояние при осуществлении операций непосредственной записи данных в ППЗУ и обратного считывания конфигурационной и служебной информации.

После выполнения указанных подключений необходимо подать напряжение питания на плату инструментального модуля, используемого для аппаратной отладки или реализации разрабатываемого устройства. Такая последовательность обеспечивает возможность автоматического обнаружения и инициализации загрузочного кабеля, а также конфигурационных ППЗУ непосредственно в процессе

функционирования программы *iMPACT*. При подключении загрузочного кабеля после запуска модуля программирования необходимо выполнить «вручную» операции установки типа и параметров используемого кабеля.

**Активизация модуля iMPACT в режиме прямого программирования элементов конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI**

Для запуска модуля программирования *iMPACT* в режиме прямого программирования элементов флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI необходимо вначале выполнить те же действия, что и при загрузке конфигурационной последовательности данных в ППЗУ фирмы Xilinx. Затем в открывшейся диалоговой панели с заголовком *Welcome to iPACT* следует переключить в нажатое состояние кнопку *Configure devices*. При этом становится доступным поле выбора режима программирования, расположенное справа от этой кнопки. В выпадающем списке необходимо выделить строку *Using Direct SPI Configuration*, которая соответствует режиму непосредственного программирования микросхем конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI. Выбор требуемого режима

работы модуля программирования завершается нажатием кнопки «Готово» (*Finish*) в нижней части диалоговой панели *Welcome to iMPACT*.

В результате выполнения указанных операций на экране появляется диалоговая панель с заголовком *Add Device*, в которой необходимо указать идентификатор и расположение на диске сформированного ранее файла с расширением *mcs* или *exo*, предназначенного для загрузки в выбранную микросхему флэш-памяти. Следует обратить внимание на то, что этот файл должен быть сгенерирован для последовательного ППЗУ с интерфейсом SPI. Эта процедура была подробно рассмотрена в 22-й части данного курса.

После определения названия требуемого файла программирования, записываемого в конфигурационное ППЗУ с интерфейсом SPI, в области расположения рабочих окон Навигатора проекта (*Project Navigator*) открывается новое окно, на закладке которого отображается название выбранного режима работы программы *iMPACT* – *Direct SPI Configuration*, и выводится диалоговая панель, озаглавленная *Select Device Part Name*. Кроме того, в окне исходных модулей *Sources Window* добавляется страница *Configuration Modes*, предназначенная для выбора режима работы средств программирования. С помощью поля выбора, представленного в диалоговой панели с заголовком *Select Device Part Name*, следует указать условное обо-

интернет-магазин

# Elitan.ru

- электронные компоненты
- приборы и инструмент
- компьютерная техника

**500 000 ТОВАРОВ**

**ОТ 600 ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ**

минимальный заказ **не ограничен**

**12 способов доставки** по России и зарубеж

оплата через **банк, почту, Webmoney, ЯндексДеньги, Visa, MasterCard**

**ежедневное обновление склада**

отслеживание заказа **на сайте**

Москва  
Телефон: 8 (495)  
**649-84-45**  
Факс: 646-80-01

Санкт-Петербург  
Телефон: 8 (812)  
**313-28-33**  
Факс: 313-28-44

Ижевск  
Телефон: 8 (3412)  
**50-33-30**  
Факс: 51-84-29

ЛИТАН®

info@elitan.ru  
www.elitan.ru

значение используемой микросхемы флэш-памяти. Выпадающий список этого поля выбора содержит обозначения всех ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI, поддерживаемых модулем программирования *iMPACT*.

Выбранный тип микросхемы флэш-памяти следует подтвердить нажатием клавиши *OK*, расположенной в нижней части диалоговой панели с заголовком *Select Device Part Name*. При успешном выполнении указанных действий в рабочем окне программы *iMPACT - Direct SPI Configuration* появляется условный графический образ (УГО) выбранной микросхемы флэш-памяти с интерфейсом SPI, под которым отображается обозначение этого ППЗУ и идентификатор файла программирования, а в окне процессов *Processes Window* - страница *Configuration Operations*. Эта страница предоставляет доступ к соответствующим командам программирования ППЗУ, обратного считывания и проверки записанных данных.

В окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window* управляющей оболочки Навигатора проекта выводится информация о выполнении последовательности команд установки режима работы программного модуля *iMPACT* для непосредственной записи данных в элемент флэш-памяти с интерфейсом SPI, выбора типа микросхемы ППЗУ и файла программирования. Вид этой информации приведен ниже на примере программирования микросхемы M25P16, выпускаемой компанией STMicroelectronics (Numonyx):

```
// *** WATCH CMD : setMode -spi
Selected part: M25P16
INFO:iMPACT:501 - '1': Added Device M25P16 successfully.
-----
'1': Loading file
'D:/Prj_n/Prj_direct_spi/direct_flash_spi.mcs' ...
INFO:iMPACT - Elapsed time = 0 sec.
done.
// *** WATCH CMD : setAttribute -position 1 -attr readnextdevice -value ""
```

Процедура автоматической идентификации типа подключенного загрузочного кабеля в режиме прямого программирования микросхем флэш-памяти с интерфейсом SPI осуществляется при первой выполняемой команде. Ход выполнения этой процедуры

отображается на экране дисплея с помощью всплывающего окна индикации и сопровождается соответствующей информацией в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window*. Протокол выполнения процедуры автоматического определения загрузочного кабеля, подключаемого к порту USB персонального компьютера, который применяется для программирования элементов флэш-памяти с интерфейсом SPI, выглядит следующим образом:

```
GUI --- Auto connect to cable...
// *** WATCH CMD : setCable -port auto
AutoDetecting cable. Please wait.
PROGRESS_START - Starting Operation.
Connecting to cable (Usb Port - USB21) .
Driver file xusb_emb.sys found.
Driver version: src=1029, dest=1029.
Driver windrvr6.sys version = 8.1.1.0. WinDriver v8.11 Jungo (c) 1997 - 2006 Build Date: Oct 16 2006 X86 32bit SYS 12:35:07, version = 811.
Cable PID = 0008.
Max current requested during enumeration is 60 mA.
Cable Type = 3, Revision = 0.
Setting cable speed to 6 MHz.
Cable connection established.
File version of
D:/Xilinx/10.1/ISE/data/xusb_xlp.hex = 1302.
Downloading
D:/Xilinx/10.1/ISE/data/xusb_xlp.hex.
Downloaded firmware version = 1302.
Type = 0x0004.
ESN option: 00000000000000.
PLD file version = 0012h.
PROGRESS_END - End Operation.
```

При неудачном завершении процедуры автоматической идентификации загрузочного кабеля, осуществляемой модулем программирования *iMPACT*, в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window* отображаются подробные сведения о последовательном сканировании всех доступных параллельных портов (LPT) и USB-портов компьютера, после чего выводится соответствующее предупреждение об отсутствии подключенного загрузочного кабеля. В этом слу-

чае необходимо проверить правильность подключения гибких выводов загрузочного кабеля к выводам разъёма порта интерфейса SPI микросхемы конфигурационной флэш-памяти, а также наличие напряжения питания.

### ПРЯМОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОСХЕМ КОНФИГУРАЦИОННОЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ SPI С ПОМОЩЬЮ ЗАГРУЗОЧНОГО JTAG-КАБЕЛЯ

Прежде чем приступить к записи конфигурационной последовательности данных в ППЗУ, рекомендуется проверить и установить требуемые параметры процесса программирования. Для этого следует выбрать команду *Set Programming Properties* из всплывающего меню *Edit* или из контекстно-зависимого всплывающего меню, открываемого щелчком правой кнопки мыши. При выполнении этой команды на экран выводится диалоговая панель с заголовком *Device Programming Properties*, которая предназначена для определения значений параметров процесса программирования микросхем флэш-памяти. В этой диалоговой панели представлено два параметра: *Verify* и *Erase Before Programming*.

С помощью параметра *Verify* разрешается или запрещается автоматическое выполнение операции проверки записанной информации по окончании процесса программирования ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI. По умолчанию для этого параметра предлагается значение «включено», при котором осуществляется автоматический контроль данных, загруженных в элемент флэш-памяти в текущем сеансе программирования этой микросхемы.

Значение параметра *Erase Before Programming* определяет необходимость предварительной очистки содержимого ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI перед осуществлением процесса программирования данной микросхемы. Значение «включено», установленное по умолчанию для этого параметра, соответствует режиму автоматического выполнения операции «стирания» конфигурационных данных, находящихся в ППЗУ перед его программированием.

После установки требуемых значений параметров процесса прямого программирования микросхем конфигурационной флэш-памяти с после-

довательным интерфейсом необходимо подтвердить их нажатием клавиши *OK*, которая расположена в нижней части диалоговой панели *Device Programming Properties*.

Для выполнения всех операций программирования ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI и обратного чтения конфигурационных и статусных данных следует использовать соответствующие команды, которые представлены на странице *Configuration Operations* в окне процессов *Processes Window*, во всплывающем меню *Operations* управляющей оболочки Навигатора проекта и контекстно-зависимом всплывающем меню. Эти команды становятся доступными после выделения щелчком левой кнопки мыши УГО *SPI PROM*, представленного в рабочем окне *iMPACT*. Контекстно-зависимое всплывающее меню открывается щелчком правой кнопкой мыши при расположении курсора на условном изображении соответствующего элемента флэш-ППЗУ.

Процесс прямого программирования выбранной микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI иници-

ируется с помощью команды *Program*. Ход выполнения процесса записи данных в ППЗУ отображается с помощью всплывающего окна индикации и сопровождается соответствующими уведомлениями в рабочем окне программы *iMPACT* и окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window*. Ниже представлен протокол выполнения операции программирования микросхемы конфигурационной памяти M25P16 с последующим контролем записанной информации:

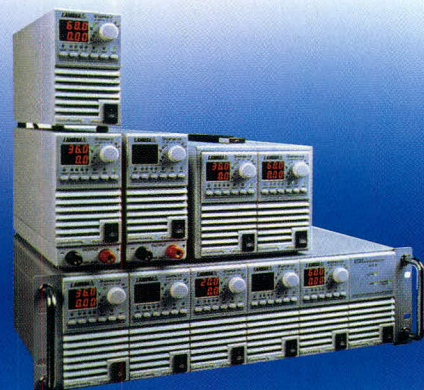
```
// *** WATCH CMD : Program -p 1
-e -v
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Erasing Device.
PROGRESS_START - Starting Operation.
'1': Programming Flash.
'1': Reading device contents...
done.
'1': Verification completed.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 121 sec.
```

**ПРЯМОЕ ЧТЕНИЕ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ДАННЫХ И СТАТУСНОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ МИКРОСХЕМ ФЛЭШ-ПАМЯТИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ SPI С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ iMPACT И ЗАГРУЗОЧНОГО JTAG-КАБЕЛЯ**

При подключении микросхем конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI непосредственно к разъёму JTAG-порта загрузочного кабеля модуль программирования *iMPACT* не только предоставляет возможность записи информации в ППЗУ, но и позволяет выполнять операции обратного считывания конфигурационных данных и их контроля, чтение информации о состоянии этого элемента, а также очистку содержимого запоминающего устройства. Для этого предусмотрены соответствующие команды *Readback*, *Verify*, *Get Device Checksum*, *Blank Check* и *Erase*. Эти команды имеют то же назначение, что и в случае применения ППЗУ фирмы Xilinx серий XC18V00 и *Platform Flash*, но процесс их выполнения отличается при использовании

**TDK-Lambda ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ –**

**МОЩЬ И ИНТЕЛЛЕКТ**



Серия ZUP



Серия Genesys™

**Применения ZUP и Genesys™**

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

**Серия ZUP (Zero-Up)**

- Выходная мощность 200/400/800 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485 (GPIO по заказу)
- Универсальный вход 85-265 В переменного тока
- Выходные напряжения до 120 В, ток нагрузки до 132 А
- Программная калибровка

**Серия Genesys™**

- Выходная мощность 750/1500/2400/3300/5 000/10 000/15 000 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485 (GPIO 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 В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ**



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

Реклама

микросхем флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI. Поэтому далее в настоящем разделе приводится информация о выполнении каждой из перечисленных выше команд.

Команда *Readback* предназначена для считывания конфигурационной информации, записанной в выбранный элемент флэш-памяти, и сохранения её в виде файла на диске в формате MCS. При активизации этой команды на экран выводится стандартная диалоговая панель, используемая для определения названия создаваемого файла, с заголовком *Save Readback File*. Последующий ход процесса обратного считывания из ППЗУ записанной информации отображается с помощью соответствующей всплывающей панели индикации в рабочем окне программы *iMPACT* и следующих уведомлений в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window*:

```
// *** BATCH CMD : ReadbackToFile
-p 1 -file
"D:/Prj_n/Prj_direct_spi/old_flash_spi.mcs"
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Performing readback on device...
PROGRESS_START - Starting Operation.
'1': Reaback completed successfully.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 186 sec.
```

Для проверки достоверности конфигурационных данных, содержащихся в микросхеме флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, используется команда *Verify*. При выборе этой команды осуществляется чтение содержимого ППЗУ и сравнение считанных данных с информацией, записанной в указанном файле программирования. Результат выполнения этой команды отображается в виде соответствующей всплывающей панели индикации в рабочем окне программы *iMPACT* и следующей информации в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window*:

```
// *** BATCH CMD : Verify -p 1
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Reading device contents...
PROGRESS_START - Starting Operation.
```

```
done.
'1': Verification completed.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 30 sec.
```

Команда *Get Device Checksum* инициирует операцию вычисления контрольной суммы конфигурационных данных, записанных во флэш-ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI, и сравнения полученного результата со значением контрольной суммы файла «прошивки», который указан в рабочем окне программы *iMPACT* для выбранного элемента. Результаты вычисления контрольной суммы и сравнения с образцовым значением выводятся в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window* в следующем виде:

```
// *** BATCH CMD : Checksum -p 1
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Reading device contents...
done.
All Checksum calculations are performed on the address range spanned by the configuration file.
'1': Calculated checksum matches expected checksum, 000012c06
```

С помощью команды *Blank Check* считывается информация о состоянии микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, подключенной к загрузочному кабелю. Полученные данные о статусе ППЗУ (содержит этот элемент памяти конфигурационную последовательность или нет) отображаются в виде всплывающей информационной панели в рабочем окне программы *iMPACT* и окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window* управляющей оболочки Навигатора проекта. Если микросхема флэш-памяти не содержит конфигурационных данных (находится в незапрограммированном состоянии), то результат выполнения команды *Blank Check* выглядит следующим образом:

```
// *** BATCH CMD : BlankCheck -p 1
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Performing blank check on device...
```

```
PROGRESS_START - Starting Operation.
'1': Part is blank.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 181 sec.
```

При наличии конфигурационной информации в ППЗУ результат выполнения команды *Blank Check*, отображаемый в окне регистрации сообщений *Transcript Window*, имеет следующий вид:

```
// *** BATCH CMD : BlankCheck -p 1
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Performing blank check on device...
Failed at address, 0
'1': Part is not blank.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 0 sec.
PROGRESS_START - Starting Operation.
```

Для очистки содержимого микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI (перевод в незапрограммированное состояние) предназначена команда *Erase*. Процесс выполнения операции «стирания» конфигурационной информации в ППЗУ сопровождается выводом всплывающей панели индикации в рабочем окне программы *iMPACT* и соответствующей информации в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window*, которая выглядит следующим образом:

```
// *** BATCH CMD : Erase -p 1
Validating device...
'1': IDCODE is '202015' (in hex).
'1': ID Check passed.
Device validated successfully.
'1': Erasing Device.
PROGRESS_START - Starting Operation.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 33 sec.
```

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОСХЕМ КОНФИГУРАЦИОННОЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ SPI ЧЕРЕЗ ПОРТ JTAG-ИНТЕРФЕЙСА ПЛИС FPGA

При косвенном методе программирования микросхем конфигурацион-

ной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI следует присоединить загрузочный кабель к разъёму порта JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA, к которой подключено это ППЗУ. Далее необходимо активизировать модуль программирования *iMPACT* в режиме периферийного сканирования *Boundary-Scan (JTAG) Mode*. Для этого в стартовой диалоговой панели данной программы с заголовком *Welcome to iMPACT* необходимо зафиксировать в нажатом состоянии кнопку *Configure devices using Boundary-Scan(JTAG)*. При этом рекомендуется установить режим автоматической идентификации подключенного загрузочного кабеля и цепочки периферийного сканирования, указав в выпадающем списке соответствующего поля выбора вариант *Automatically connect to cable and identify Boundary-Scan chain*. После закрытия диалоговой панели *Welcome to iMPACT* осуществляется процесс обнаружения загрузочного кабеля и цепочки периферийного сканирования. Информация о результатах процесса определения состава цепочки периферийного сканирования, отображаемая в окне регистрации консоль-

ных сообщений *Transcript Window*, имеет следующий вид:

```
Attempting to identify devices in
the boundary-scan chain configura-
tion...
// *** BATCH CMD : Identify
PROGRESS_START - Starting Operation.
Identifying chain contents
... '1': : Manufacturer's ID
=Xilinx xcf04s, Version : 15
INFO:iMPACT:1777 -
Reading
D:/Xilinx/10.1/ISE/xcf/data/xcf04
s.bsd...
INFO:iMPACT:501 - '1': Added De-
vice xcf04s successfully.
-----
'2': : Manufacturer's ID =Xilinx
xc3s700a, Version : 0
INFO:iMPACT:1777 -
Reading D:/Xilinx/10.1/ISE/spar-
tan3a/data/xc3s700a.bsd...
INFO:iMPACT:501 - '1': Added De-
vice xc3s700a successfully.
-----
done.
PROGRESS_END - End Operation.
Elapsed time = 2 sec.
```

При успешном определении ПЛИС в цепочке периферийного сканирования её УГО отображается в рабочем окне программы *iMPACT* и на экран выводится диалоговая панель с заголовком *Assign New Configuration File*. В этой диалоговой панели, предназначенной для выбора файла загружаемой конфигурационной последовательности, необходимо указать идентификатор соответствующего файла с расширением *bit* и переключить в нажатое состояние кнопку *Enable Programming of SPI Flash Device Attached to this FPGA*. Установка данной кнопки во включенное состояние предоставляет возможность программирования микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, которая подключена к ПЛИС, через порт JTAG-интерфейса кристалла FPGA. После нажатия клавиши «Открыть» (*Open*) в диалоговой панели с заголовком *Assign New Configuration File* она закрывается, и на экране появляется стандартная диалоговая панель открытия файла, озаглавленная *Add PROM File*. В этой диалоговой панели необходимо определить название используемого файла «про-

## ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЕ



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»



### ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» ПРИГЛАШАЕТ К СОТРУДНИЧЕСТВУ И ОСУЩЕСТВЛЯЕТ:

#### поставку

электронных компонентов в качестве второго поставщика (номенклатура порядка 400 тыс. наименований более 60 зарубежных производителей) при сотрудничестве с группой компаний ПРОСОФТ

#### производство

промышленных и встраиваемых компьютеров (в форматах Compact PCI, VME, EPIC, 3,5", PC/104, MicroPC, AT96, PICMG, Mini-ITX, ATX), плат для монтажа на DIN-рейку, а также каркасов, шлейфов, кабелей и аксессуаров, предназначенных для работы в жестких условиях эксплуатации с военной приёмкой

#### разработку

программных и аппаратных средств по техническому заданию заказчика под контролем военного представительства

#### контрактную сборку

изделий по конструкторской документации заказчика, включая поставку печатных плат, поверхностный монтаж и тестирование электронных модулей, изготовление механических деталей корпусов и передних панелей под контролем военного представительства

Производственное высокоавтоматизированное оборудование для поверхностного монтажа электронных модулей ЗАО «НПФ «Доломант» соответствует уровню требований мировых производителей. Оборудование адаптировано к использованию бессвинцовой технологии, позволяет производить автоматическую разбраковку и рентгеновский контроль качества пайки.

#### ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

имеет лицензии на разработку и производство электронных средств для вооружения и военной техники и атомных электростанций, свидетельство об аттестации второго поставщика, а также систему менеджмента качества, сертифицированную в системе «Военный регистр» на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 15.002.

117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108  
 Тел./факс: (495) 232-20-33  
 E-mail: info@dolomant.ru  
 Web: www.dolomant.ru

Реклама

шивки», содержимое которого должно быть записано в ППЗУ.

После выбора требуемого файла, сгенерированного для микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, открывается следующая диалоговая панель, которая имеет заголовок *FPGA SPI Flash Association*. В этой диалоговой панели находится поле выбора *SPI Flash*, которое предназначено для определения конкретного типа используемой микросхемы флэш-памяти. В выпадающем списке этого поля выбора представлены условные обозначения всех ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI, поддерживаемых модулем программирования *iMPACT*. Указав требуемый тип микросхемы флэш-памяти в поле выбора *SPI Flash*, необходимо подтвердить его нажатием клавиши *OK* в нижней части диалоговой панели с заголовком *FPGA SPI Flash Association*.

Далее выполнение операций косвенного программирования и обратного считывания информации рассматривается на примере микросхемы флэш-памяти с последовательным интерфейсом AT45DB161D, выпускаемой фирмой Atmel.

После определения названия файла «прошивки» в рабочем окне программы *iMPACT* добавляется условный графический образ флэш-ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI, соединённый с УГО ПЛИС, а в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window* появляется следующая информация:

```
// *** BATCH CMD : identifyMPM
// *** BATCH CMD : assignFile -p
1 -file
"D:/Prj_n/Prj_indirect_spi/indirect_flash_spi.bit"
'1': Loading file '
D:/Prj_n/Prj_indirect_spi/indirect_flash_spi.bit ' ...
done.
INFO:iMPACT:2257 - Startup Clock
has been changed to 'JtagClk' in
the bitstream stored in memory,
but the original bitstream file
remains unchanged.
-----
INFO:iMPACT:501 - '1': Added De-
vice xc3s700a successfully.
-----
Selected part: AT45DB161D
// *** BATCH CMD : attachflash
-position 1 -spi "AT45DB161D"
// *** BATCH CMD : assignfile-
toattachedflash -position 1 -file
"D:/Prj_n/Prj_indirect_spi/indi-
```

```
rect_flash_spi.mcs"
// *** BATCH CMD : attachflash
-position 1 -spi "AT45DB161D"
```

Кроме того, на экране автоматически отображается диалоговая панель с заголовком *Device Programming Properties*. Эта панель содержит несколько страниц, содержащих параметры ПЛИС и ППЗУ, входящих в состав цепочки периферийного сканирования. Выбор требуемой страницы осуществляется с помощью интерактивного списка *Category*, который отображается в левой части этой диалоговой панели. Для просмотра и установки параметров программирования микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, подключенной к ПЛИС, необходимо в данном списке выделить строку *Device N (Attached Flash*, тип микросхемы ППЗУ), где *N* – порядковый номер элемента в цепочке периферийного сканирования. При этом открывается страница, на которой представлено два параметра, относящихся к ППЗУ, – *Verify* и *Erase Before Programming*. Назначение этих параметров было рассмотрено выше в разделе, посвящённом прямому программированию микросхем конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI.

После установки требуемых значений параметров программирования флэш-ППЗУ необходимо выделить его УГО в рабочем окне программы *iMPACT*. При этом открывается доступ к командам, представленным на странице *Configuration Operations* в окне процессов *Processes Window* и во всплывающем меню *Operations* управляющей оболочки Навигатора проекта. В рассматриваемом режиме программный модуль *iMPACT* поддерживает те же команды, что и при непосредственном способе программирования микросхем конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI. Но процесс выполнения этих команд отличается от аналогичных операций, осуществляемых при непосредственном подключении загрузочного JTAG-кабеля к порту интерфейса SPI ППЗУ. Протокол процесса программирования микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA, активизируемого командой *Program*, имеет следующий вид:

```
// *** BATCH CMD : Program -p 1
-spionly
Boundary-scan chain validated
successfully.
INFO:iMPACT - Downloading core
file
D:/Xilinx/10.1/ISE/spartan3a/data
/xc3s700a_spi.cor.
PROGRESS_START - Starting Opera-
tion.
'1': Reading status register con-
tents...
CRC error : 0
INFO:iMPACT:2219 - Status regis-
ter values:
INFO:iMPACT - 0011 1111 1100 1100
INFO:iMPACT:2492 - '1': Completed
downloading core to device.
'1': Core downloaded success-
fully.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000
is in sector 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B
is not located at the start of a
sector boundary. The whole sector
will be erased.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B
is in sector 3.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000
is in sector 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B
is not located at the start of a
sector boundary. The whole sector
will be erased.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B
is in sector 3.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000
is in page 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B
is in page 646.
'1': Programming completed suc-
cessfully.
PROGRESS_END - End Operation.
```

### ЧТЕНИЕ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ДАННЫХ И СТАТУСНОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ МИКРОСХЕМ КОНФИГУРАЦИОННОЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ SPI С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ *iMPACT* ЧЕРЕЗ ПОРТ JTAG-ИНТЕРФЕЙСА ПЛИС FPGA

Модуль программирования *iMPACT* позволяет осуществлять операции обратного считывания конфигурационной и статусной информации из ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA с помощью тех же команд, что и при не-

посредственным подключении загрузочного кабеля к порту SPI микросхемы флэш-памяти. Но процесс выполнения этих операций существенно отличается от рассмотренного выше прямого чтения конфигурационных и статусных данных. Поэтому в настоящем разделе приводятся только протоколы выполнения команд обратного считывания конфигурационной и статусной информации, а также очистки содержимого ППЗУ с интерфейсом SPI через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA.

Информация с результатами контроля содержимого конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом, осуществляемого с помощью команды *Verify* через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA, отображается в окне регистрации сообщений *Transcript Window* в следующем виде:

```
// *** BATCH CMD : Verify -p 1
-spionly
Boundary-scan chain validated
successfully.
INFO:iMPACT - Downloading core
file
```

```
D:/Xilinx/10.1/ISE/spartan3a/data
/xc3s700a_spi.cor.
PROGRESS_START - Starting Opera-
tion.
'1': Reading status register con-
tents...
CRC error : 0
value of VSEL pin 0 : 1
value of VSEL pin 1 : 1
value of VSEL pin 2 : 1
value of MODE pin M0 : 1
value of MODE pin M1 : 0
value of MODE pin M2 : 0
POST_CRC_ERR error : 0
INFO:iMPACT:2219 - Status regis-
ter values:
INFO:iMPACT - 0011 1111 1100 1100
INFO:iMPACT:2492 - '1': Completed
downloading core to device.
'1': Core downloaded success-
fully.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000
is in page 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B
is in page 646.
'1': Verifying device...done.
'1': Verification completed suc-
cessfully.
PROGRESS_END - End Operation.
```

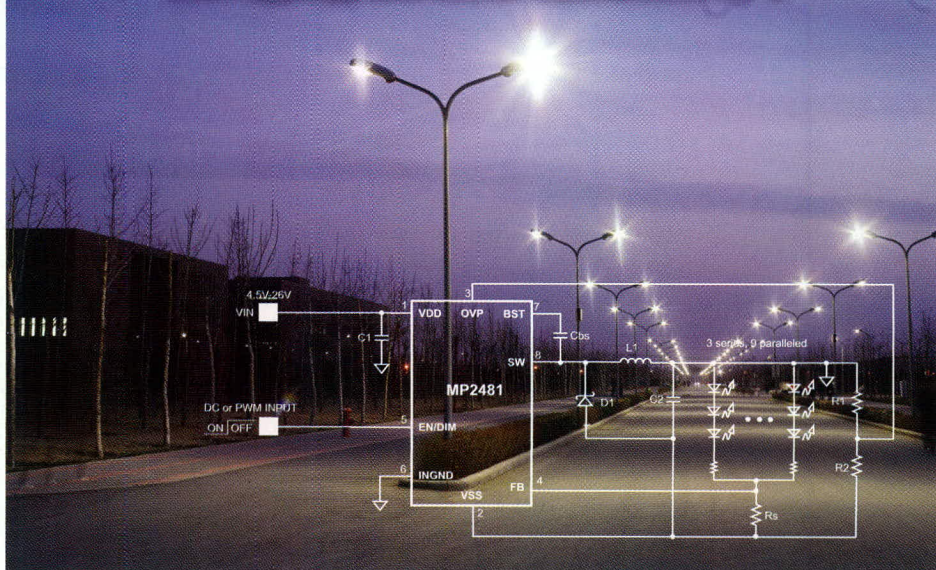
Результаты операции вычисления контрольной суммы конфигурационных данных, содержащихся во флэш-ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI, и сравнения со значением контрольной суммы файла программирования, выполняемой при выборе команды *Get Device Checksum*, выводятся в окне регистрации сообщений *Transcript Window* в следующей форме:

```
// *** BATCH CMD : Checksum -p 1
-spionly
Boundary-scan chain validated
successfully.
INFO:iMPACT - Downloading core
file
D:/Xilinx/10.1/ISE/spartan3a/data
/xc3s700a_spi.cor.
PROGRESS_START - Starting Opera-
tion.
'1': Reading status register con-
tents...
CRC error : 0
value of VSEL pin 0 : 1
value of VSEL pin 1 : 1
value of VSEL pin 2 : 1
value of MODE pin M0 : 1
value of MODE pin M1 : 0
```



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

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ ДРАЙВЕРОВ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП КОМПАНИИ MPS



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ MPS В РОССИИ:



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

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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

реклама

```
value of MODE pin M2 : 0
POST_CRC_ERR error : 0
INFO:iMPACT:2219 - Status register values:
INFO:iMPACT - 0011 1111 1100 1100
'1': Core downloaded successfully.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000 is in page 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is in page 646.
'1': Reading device contents...done.
All Checksum calculations are performed on the address range spanned by the configuration file.
'1': Calculated checksum matches expected checksum, 000009c96
PROGRESS_END - End Operation.
```

Считывание конфигурационной информации, содержащейся в выбранной микросхеме флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, осуществляемое с помощью команды *Readback*, сопровождается следующими сообщениями:

```
// *** BATCH CMD : ReadbackToFile
-p 1 -file " D:/Prj_n/Prj_indirect_spi/old_flash_spi.mcs.mcs"
-spionly
Boundary-scan chain validated successfully.
INFO:iMPACT - Downloading core file D:/Xilinx/10.1/ISE/spartan3a/data/xc3s700a_spi.cor.
PROGRESS_START - Starting Operation.
'1': Reading status register contents...
CRC error : 0
value of VSEL pin 0 : 1
value of VSEL pin 1 : 1
value of VSEL pin 2 : 1
value of MODE pin M0 : 1
value of MODE pin M1 : 0
value of MODE pin M2 : 0
POST_CRC_ERR error : 0
INFO:iMPACT:2219 - Status register values:
INFO:iMPACT - 0011 1111 1100 1100
INFO:iMPACT:2492 - '1': Completed downloading core to device.
INFO:iMPACT - '1': Checking done pin...done.
'1': Core downloaded successfully.
'1': Performing readback on device...done.
PROGRESS_END - End Operation.
```

Сведения о состоянии запрограммированной микросхемы конфигурационной флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, полученные с помощью команды *Blank Check*, отображаются в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window* в следующем виде:

```
// *** BATCH CMD : BlankCheck -p 1 -spionly
Maximum TCK operating frequency for this device chain: 10000000.
Validating chain...
Boundary-scan chain validated successfully.
PROGRESS_START - Starting Operation.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000 is in page 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is in page 646.
'1': Performing blank check on device...Blank check failed on page 0.
'1': Part is not blank.
done.
PROGRESS_END - End Operation.
```

Если выбранный элемент ППЗУ не содержит конфигурационных данных (находится в незапрограммированном состоянии), то при выполнении команды *Blank Check* в окне регистрации сообщений *Transcript Window* появится следующая информация:

```
// *** BATCH CMD : BlankCheck -p 1 -spionly
Maximum TCK operating frequency for this device chain: 10000000.
Validating chain...
Boundary-scan chain validated successfully.
PROGRESS_START - Starting Operation.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000 is in page 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is in page 646.
'1': Performing blank check on device...done.
'1': Part is blank.
PROGRESS_END - End Operation.
```

Процесс выполнения команды *Erase*, осуществляющей «стирание» содержимого выбранной микросхемы флэш-памяти с последовательным интерфейсом SPI, подключенной к ПЛИС, сопровождается следующими сообщениями:

```
/ *** BATCH CMD : Erase -p 1
-spionly
Boundary-scan chain validated successfully.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000 is in sector 0.
INFO:iMPACT - Start block = 0 for address 0x00000000.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is not located at the start of a sector boundary. The whole sector will be erased.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is in sector 3.
INFO:iMPACT - End block = 95 for address 0x0005364B.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000 is in sector 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is not located at the start of a sector boundary. The whole sector will be erased.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is in sector 3.
INFO:iMPACT - Address 0x00000000 is in sector 0.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is not located at the start of a sector boundary. The whole sector will be erased.
INFO:iMPACT - Address 0x0005364B is in sector 3.
PROGRESS_START - Starting Operation.
'1': Erasing sector protect register...'1': Erasing device...done.
'1': Erasure completed successfully.
PROGRESS_END - End Operation.
```

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОСХЕМ КОНФИГУРАЦИОННОЙ ФЛЭШ-ПАМЯТИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ ВРІ ЧЕРЕЗ ПОРТ JTAG-ИНТЕРФЕЙСА ПЛИС FPGA

Процесс программирования микросхем конфигурационной флэш-памяти с параллельным интерфейсом ВРІ через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA осуществляется, в основном, таким же образом, как и для ППЗУ с последовательным интерфейсом SPI. Вначале необходимо активизировать модуль программирования *iMPACT* в режиме периферийного сканирования *Boundary-Scan(JTAG) Mode*. Затем, после обнаружения загрузочного кабеля и цепочки периферийного сканирования, в диалоговой пане-

ли *Assign New Configuration File* необходимо указать идентификатор файла загружаемой конфигурационной последовательности и зафиксировать в нажатом положении кнопку *Enable Programming of BPI Flash Device Attached to this FPGA*. При этом становится доступным косвенный метод программирования микросхемы конфигурационной флэш-памяти с параллельным интерфейсом BPI, которая подключена к ПЛИС, через порт JTAG-интерфейса этого кристалла FPGA.

Далее в стандартной диалоговой панели открытия файла с заголовком *Add PROM File* следует указать название используемого файла программирования, содержимое которого должно быть записано в ППЗУ. Этот файл должен быть сформирован специально для микросхемы configura-

ционной флэш-памяти с параллельным интерфейсом BPI. Процесс подготовки файлов программирования для ППЗУ этого типа был подробно рассмотрен в двадцать второй части настоящего курса. После выбора требуемого файла «прошивки» открывается очередная диалоговая панель, озаглавленная *FPGA BPI Flash Association*. С помощью поля выбора *BPI Flash*, которое расположено в этой диалоговой панели, необходимо определить тип применяемой микросхемы параллельной флэш-памяти. Выпадающий список данного поля выбора содержит условные обозначения всех ППЗУ с параллельным интерфейсом BPI, поддерживаемых модулем программирования *IMPACT*.

После выбора условного обозначения используемой микросхемы флэш-памя-

ти параллельного типа необходимо выполнить ту же последовательность действий, что и при программировании ППЗУ с интерфейсом SPI через порт JTAG-интерфейса ПЛИС FPGA. При этом поддерживаются все команды записи и верификации данных, обратного считывания конфигурационной и статусной информации, а также очистки содержимого элемента флэш-памяти, которые были рассмотрены в предыдущих разделах. Подробная информация о результатах выполнения этих операций отображается в окне регистрации консольных сообщений *Transcript Window*.

На этом завершается изучение процесса программирования элементов основных типов энергонезависимой памяти, применяемых для хранения конфигурационной информации ПЛИС с архитектурой FPGA. ©

## Новости мира News of the World Новости мира

### Бинарная система сдерживает мощность квантовых компьютеров

Следует отказаться от традиционной бинарной системы при разработке сверхбыстрых квантовых компьютеров. Переход на новую пятирежимную систему позволит упростить построение сверхмощных машин. Об этом заявляют Мэтью Нили (Matthew Neeley) и его коллеги из Университета Калифорнии (University of California) в Санта-Барбаре.

До сих пор разработка квантовых компьютеров следовала традиционной бинарной вычислительной модели. Она кодирует всю информацию при помощи компонентов, которые могут находиться в двух состояниях: 0 или 1. Но существуют и другие возможности. Нили объясняет, что можно использовать тернарную систему с тремя цифрами, и тогда основные единицы должны стать троичными, или тритам (trinary digit), т.е. будут, по сути, трёхпозиционные переключатели. Один трит будет содержать больше информации, чем обычный бит.

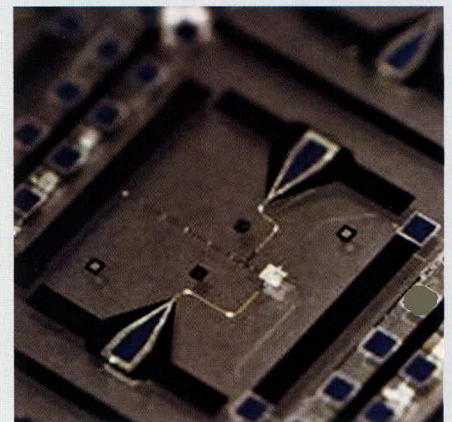
Команда Нили уже построила квантовый компьютер, чьи стандартные блоки имеют пять основных состояний. До сих пор стандартные блоки квантовых компьютеров были бинарными квантовыми битами (кубитами), которые кодировали два положения в квантовый спин атомов, электронов или протонов. Способность таких частиц игнорировать обычную логику и существование сразу в нескольких квантовых состояниях должны однажды

позволить квантовым компьютерам выполнять огромное количество вычислений одновременно.

Исследователи использовали сверхпроводящий алюминий и кремниевую схему на сапфировой подложке для получения пятирежимных кубитов или кудитов (qudit). В кудитах содержится ещё больше информации, чем в кубитах, что позволит производить вычисления с меньшим количеством кудитов, — поясняют учёные. Возбуждая микроволновые фотоны пяти различных частот в схеме, они смогли способствовать их переходам между пятью дискретными энергетическими уровнями. Также был разработан метод квантового измерения, который позволяет различать между собой эти уровни.

Однако один кудит мало что даёт. Джонатан Хоум (Jonathan Home) из Национального института стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) в Боулдере заявил, что команде Нили необходимо расширить эту базовую систему, чтобы два или более кудитов могли передавать информацию между собой, позволяя осуществлять более сложные вычислительные операции. «Разработка такого рода систем, где два кудита взаимодействуют, но по-прежнему сохраняют интересные свойства пятирежимной системы, и будет главной задачей», — говорит Хоум.

Потенциальные возможности квантовых компьютеров уже вызывают интерес Управления перспективных исследова-



ний (Advanced Research Projects Agency) США, которое надеется использовать их для взлома кодов. Это управление уже оказывает поддержку исследованиям Хоума в области квантовых компьютеров, работающих при комнатной температуре, чтобы бинарные кубиты могли взаимодействовать и обмениваться информацией. Последние результаты показывают, что ионы магния могут использоваться для остановки взаимной дестабилизации кубитов из-за передачи тепла, равно как и их квантовых состояний.

Этот трюк использует плотно сжатую цепочку ионов бериллия в качестве кубитов, в то время как прилегающие ионы магния поглощают все тепло. Тепло, как правило, приводит к разрушению квантовой информации. «И это откроет путь крупномасштабным квантовым вычислениям, поскольку это служит важной задачей — передаче информации», — говорит Хоум.

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

# Электромагнитные процессы и сравнительный анализ автономных одноключевых параллельных инверторов напряжения с закрытым входом

Евгений Силкин (г. Ульяновск)

**Схемы автономных одноключевых параллельных инверторов напряжения являются перспективными для применения в устройствах силовой электроники больших мощностей и частот.**

В последние два десятилетия наблюдался заметный прогресс в области преобразователей для частотного электропривода и электроэнергетики, что было связано, в том числе, с разработкой современных силовых полупроводниковых полностью управляемых (двухоперационных) вентилях на большие токи и напряжения. В области же высокочастотной силовой электроники в настоящее время достижения менее значительны. Это объясняется, в первую очередь, тем, что новые типы полностью управляемых вентилях для традиционных применений остаются сравнительно низкочастотными. Действительно, рабочие частоты ШИМ в инверторах для электроприводов редко превышают 10 кГц.

Для применений в высокочастотных установках, в частности для электротехнологий, требуются источники питания и управления на мощности до сотен мегаватт и частоты до единиц мегагерц. Например, в установках высокоинтенсивной закалки (ВИЗ) могут использоваться преобразователи частоты мощностью несколько сотен киловатт, работающие на частотах от сотен килогерц до нескольких мегагерц. Не представляется возможным эффективно применять в мощных преобразователях даже относительно высокочастотные (до 400...500 кГц) кремниевые полевые транзисторы (MOSFET) из-за малых типовых величин токов и напряжений.

В области низких частот (до 10...15 кГц) с новыми полупроводниковыми приборами традиционно

успешно конкурируют обычные быстродействующие тиристоры (SCR). Использование производителями оборудования на этих частотах, например, IGBT-транзисторов или запираемых тиристоров (GTO), является лишь данью моде и не обосновано расчётом или стремлением получить технико-экономические преимущества. На высоких частотах и больших мощностях в силовой преобразовательной технике для электротехнологий по-прежнему доминируют устройства на электронных лампах.

Для комплексного решения проблемы создания новых поколений полупроводниковых преобразователей для электротехнологий необходимы более быстродействующие силовые полупроводниковые электронные компоненты, способные эффективно работать в жёстких условиях эксплуатации на повышенных частотах и при повышенных температурах. В перспективе важным направлением развития высокочастотной силовой электроники станет использование гибридных вентиляхных ячеек – сборок (управляемые вентилях с карбид-кремниевыми диодами) и чисто карбид-кремниевых приборов. Это позволит расширить диапазон применения силовых полупроводниковых приборов на частоты до нескольких мегагерц и использовать такую схемотехнику высокочастотных переключающих устройств, которая обеспечивает малые коммутационные потери в вентилях, поскольку именно они являются определяющими в балансе потерь на высоких частотах.

Совершенствование схемотехники вентиляхных преобразователей, как и ранее, будет основным в развитии высокочастотной силовой электроники. При использовании современных силовых двухоперационных полупроводниковых вентилях уже сегодня возможно создание мощных достаточно эффективных преобразователей высокой частоты для электротехнологий на основе одноключевых (quarter-bridge) схем инверторов напряжения с простой параллельной компенсацией реактивности нагрузки.

Автономные одноключевые параллельные инверторы напряжения имеют предельно простые электрические схемы [1–5]. Они обладают целым рядом положительных свойств и позволяют создавать энергоёмкие преобразовательные устройства с высокотехнологичными и сравнительно недорогими конструкциями, что особенно важно для силовой электроники больших мощностей и частот. Такие инверторы легко согласуются с наиболее распространёнными типами нагрузок и эффективно регулируются. Они надёжны, управляемы и могут работать на очень высоких частотах, в том числе, в составе электротехнологических систем самого различного назначения.

В преобразователях частоты большой мощности, в частности, для электротехнологий, как правило, необходимо использовать схемы автономных инверторов с закрытым входом, обеспечивающие отсутствие постоянной составляющей в токе нагрузки. Одноключевые инверторы без постоянной составляющей тока в нагрузке по принципу действия должны иметь закрытый вход, что требуется для исключения режима короткого замыкания источника пи-

тания в интервалах коммутаций вентилях, и не имеют по определению постоянной составляющей в токе нагрузки (за счёт использования емкостной развязки).

Электротехнологическая нагрузка в большинстве случаев является слабо демпфированной и потребляет значительную реактивную мощность индуктивного или емкостного характера. Примерами энергоёмких нагрузок индуктивного типа являются разнообразные индукционные нагреватели, а емкостного – барьерные лампы или озонаторы. Для компенсации реактивной мощности электротехнологических нагрузок используют дополнительные компенсирующие элементы с «противоположным» типом реактивности: конденсаторы для индуктивной или реакторы для емкостной нагрузки. Слабо демпфированная нагрузка с подключенным к ней компенсирующим элементом образует колебательный контур определённого вида. Наиболее предпочтительной считается схема простой параллельной компенсации реактивной мощности нагрузки, т.е. параллельный колебательный контур первого вида. Тип компенсации в принятой терминологии определяет и тип инвертора.

При этом аналогично известным и достаточно широко применяемым автономным однофазным одноключевым несимметричным, или, по-другому, четвертьмостовым (quarter-bridge) инверторам с постоянной составляющей тока в нагрузке, реализуются только две основные структуры или «вида» одноключевых параллельных инверторов напряжения с закрытым входом без постоянной составляющей тока в нагрузке. Они приведены на рисунках 1 и 2. Для определённости принято, что нагрузка инвертора напряжения представляет собой индуктор  $Z$  электротермической установки.

Как известно, работа в режиме инвертора напряжения с простой параллельной компенсацией реактивности нагрузки требует специального алгоритма управления. Существенным является то, что реализуемым способом управления должна обеспечиваться значительная индуктивная расстройка параллельного нагрузочного контура и, следовательно, работа автономного инвертора на выходной частоте  $\omega$ , которая лежит значительно ниже частоты резонанса  $\omega$  нагрузочного

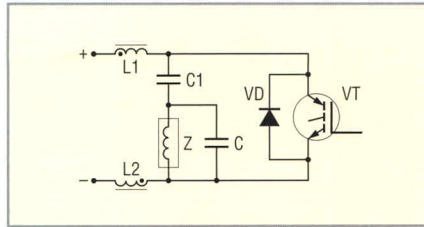


Рис. 1. Схема одноключевого параллельного инвертора напряжения без постоянной составляющей тока в нагрузке и с закрытым входом (первого вида)

контура, как правило, достаточно высокой добротности  $Q$ :

$$\omega < \omega_0; \quad Q = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (1)$$

где  $L, r, C$  – параметры электрической схемы замещения нагрузочного контура параллельного типа.

Таким образом, в параллельных инверторах напряжения по определению невозможно обеспечить «полной» компенсации реактивной мощности нагрузки. Это является недостатком схем параллельных инверторов напряжения. Коэффициент использования вентилях по мощности  $k_p$  в общеупотребительной формулировке для них сравнительно низок:

$$k_p = \frac{P}{\sum_n I_V(n) U_V(n)}, \quad (2)$$

где  $P$  – выходная мощность инвертора;  $n$  – число силовых вентилях всех типов;  $U_V, I_V$  – максимальные значения напряжения и тока вентилях соответственно. Данный режим работы реализуется только в устройствах на полностью управляемых вентилях или их аналогах.

Ещё одним недостатком схем параллельных инверторов напряжения является необходимость выполнения запуска одновременно с подачей напряжения питания. Однако в целом электрические режимы работы силовых вентилях в таких схемах являются благоприятными, что имеет основополагающее значение для применений на высоких частотах. Кроме того, не всегда корректно производить оценку эффективности использования силовых вентилях по выражению (2) при сравнении схем инверторов различных классов, работающих на высоких частотах. Как показали эксперименты и исследования тепловых моделей и надёжности систем, в частности, с вентилями на полевых структурах, целесо-

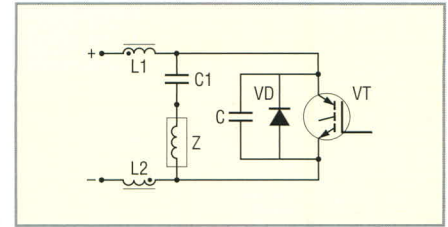


Рис. 2. Схема одноключевого параллельного инвертора напряжения без постоянной составляющей тока в нагрузке и с закрытым входом (второго вида)

образнее применять нормированный коэффициент использования вентилях по мощности  $\bar{k}_p$ :

$$\bar{k}_p = k_p k_A; \quad \bar{k}_p = \frac{P}{\sum_n \bar{I}_V(n) U_V(n)}, \quad (3)$$

где  $k_A$  – коэффициент амплитуды тока вентилях;  $\bar{I}_V$  – действующий ток силового вентилях. Коэффициент амплитуды тока вентилях  $A$  в выражении (3) равен:

$$k_A = \frac{I_V}{I_V}. \quad (4)$$

Схемы параллельных одноключевых инверторов напряжения характеризуются достаточно высоким значением коэффициента  $\bar{k}_p$ . В них обеспечиваются также и условия «мягкой» коммутации вентилях.

В одноключевых параллельных инверторах напряжения без постоянной составляющей тока в нагрузке (см. рис. 1 и 2) значения номиналов  $L_1, L_2, C_1$  индуктивностей  $L_1, L_2$  и ёмкости  $C_1$  фильтра рекомендуется выбирать, исходя из зависимостей:

$$L_1 + L_2 > \frac{2TE^2}{\pi P}; \quad C_1 > \frac{4\pi T P}{E^2}, \quad (5)$$

где  $E$  – напряжение источника питания;  $P$  – выходная мощность инвертора при работе на нагрузку с максимальной ( $Q = \max$ ) добротностью;  $\underline{P}$  – выходная мощность при работе на нагрузку с минимальной ( $Q = \min$ ) добротностью;  $T = 2\pi\omega^{-1}$  – период выходного сигнала. Это в принципе не означает, что при меньших значениях  $L_1, L_2, C_1$  рассматриваемые параллельные инверторы перестают быть работоспособными. Их характеристики лишь определённым образом модифицируются, а высокочастотные пульсации входного тока  $i_E$  через дроссели  $L_1, L_2$  и

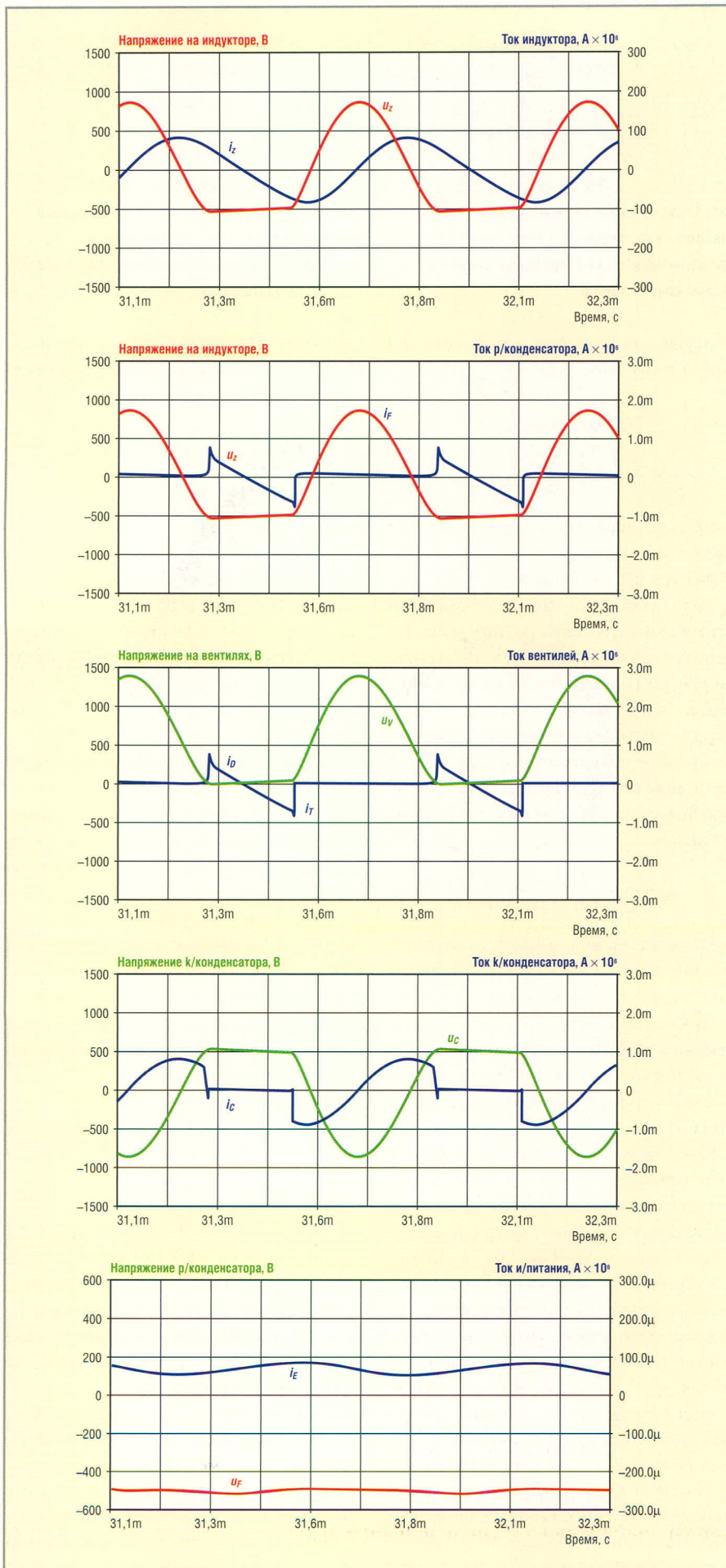


Рис. 3. Осциллограммы сигналов в схеме одноключевого параллельного инвертора напряжения первого вида

напряжения  $u_F$  на конденсаторе  $C_1$  фильтра (разделительном) возрастают и могут достигать недопустимых значений. При выбранных согласно (5) номиналах индуктивностей  $L_1, L_2$  и ёмкости  $C_1$  обеспечивается достаточно качественная фильтрация тока источника питания  $i_E$  и напряжения  $u_F$ .

Схема, представленная на рисунке 2, относится именно к параллельным инверторам напряжения [6]. Действительно, т.к. ёмкость фильтра  $C_1$  существенно превышает компенсирующую  $C$  ёмкость ( $C_1 \geq 8\pi C$ ), то на высокой частоте  $\omega$  индуктор  $Z$  оказывается включенным фактически параллельно компенсирующей ёмкости  $C$  и образует с ней простой параллельный контур первого вида.

Электромагнитные процессы, как следует из осциллограмм, показанных на рисунках 3 и 4, схожи для обеих рассматриваемых схем.

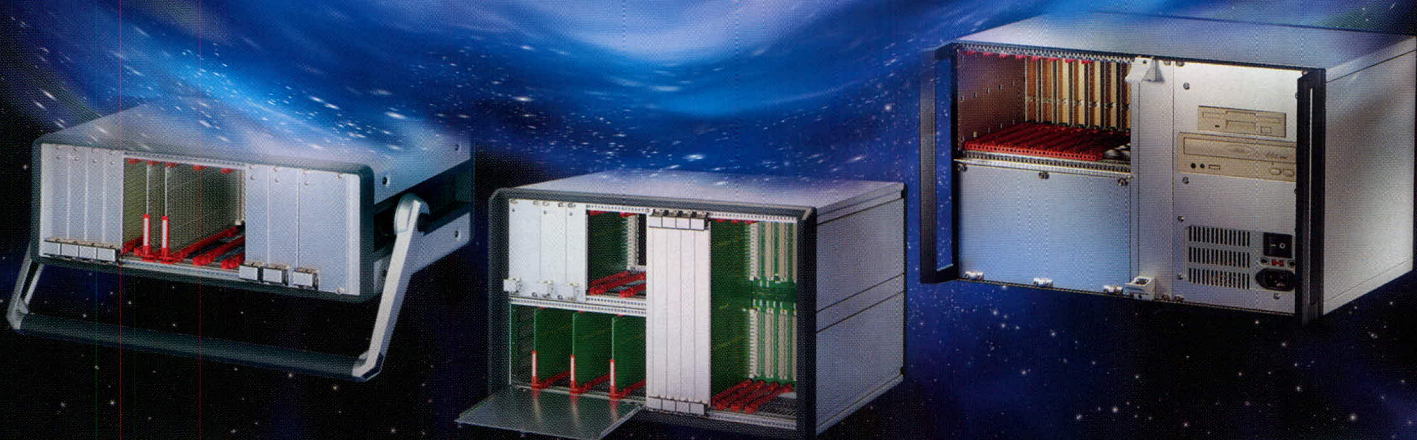
Несмотря на то что в схеме одноключевого параллельного инвертора напряжения без постоянной составляющей тока в нагрузке второго вида (см. рис. 2) действующий ток  $\bar{I}_F$ , протекающий через конденсатор фильтра  $C_1$ , выше, такая схема имеет конструктивно-технологические преимущества перед схемой первого вида (см. рис. 1). В инверторе второго вида может быть обеспечена меньшая паразитная (конструкционная) индуктивность цепей коммутации вентилях  $VT, VD$ , поскольку компенсирующая «высокочастотная» ёмкость  $C$  сравнительно мала и может быть соединена с силовыми вентилями шиной с существенно меньшей собственной индуктивностью, не включающей паразитные индуктивности конденсаторов «большой» ёмкости фильтра  $C_1$ .

Компенсирующая ёмкость  $C$  в схеме второго вида должна быть рассчитана на сравнительно большее рабочее напряжение  $U_C$ . Однако действующий ток  $\bar{I}_C$  ёмкости  $C$  в инверторе второго вида меньше, чем в инверторе первого вида. Количественные оценки будут приведены ниже. Для схемы второго вида конденсатор фильтра  $C_1$  вместе с нагрузочным индуктором  $Z$  могут быть вынесены в выходные цепи устройства или размещены в отдельном блоке на требуемом расстоянии от преобразователя частоты. Для схемы первого вида это не представляется возможным.

В схемах и первого, и второго вида также легко симметрируются потенциалы выводов индуктора  $Z$  и обеспечивается эффективная ёмкостная раз-

# Полная линейка приборных корпусов

Технология EuropacPRO —  
ГАЛАКТИКА  
ВОЗМОЖНОСТЕЙ



## CompacPRO

**Простой и удобный  
переносной корпус**

- Разнообразные конфигурации
- Идентичные передняя и задняя рамки
- Простота сборки – компоненты фиксируются с внешней стороны
- Высокая прочность и надежность
- Привлекательная цена

## PropacPRO

**Прочный переносной корпус  
с системой электромагнитного  
экранирования**

- Разнообразные конфигурации
- Привлекательный дизайн
- Прочная литая передняя рамка
- Возможность электромагнитного экранирования
- Может использоваться для медицинского оборудования

## RatiopacPRO

**Универсальный корпус  
для любых применений**

- Настольное, переносное или стоечное исполнение
- Произвольные размеры и разнообразные конфигурации
- Возможность электромагнитного экранирования
- Эффективные системы охлаждения

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ**

**МОСКВА** Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**С.-ПЕТЕРБУРГ** Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**ЕКАТЕРИНБУРГ** Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru  
**САМАРА** Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**НОВОСИБИРСК** Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru  
**КИЕВ** Тел.: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (347) 2925-218 • info@prosoft-ua.com • www.prosoft.ru  
**УФА** Тел.: (347) 2925-216; 2925-217 • Факс: (347) 2925-218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru

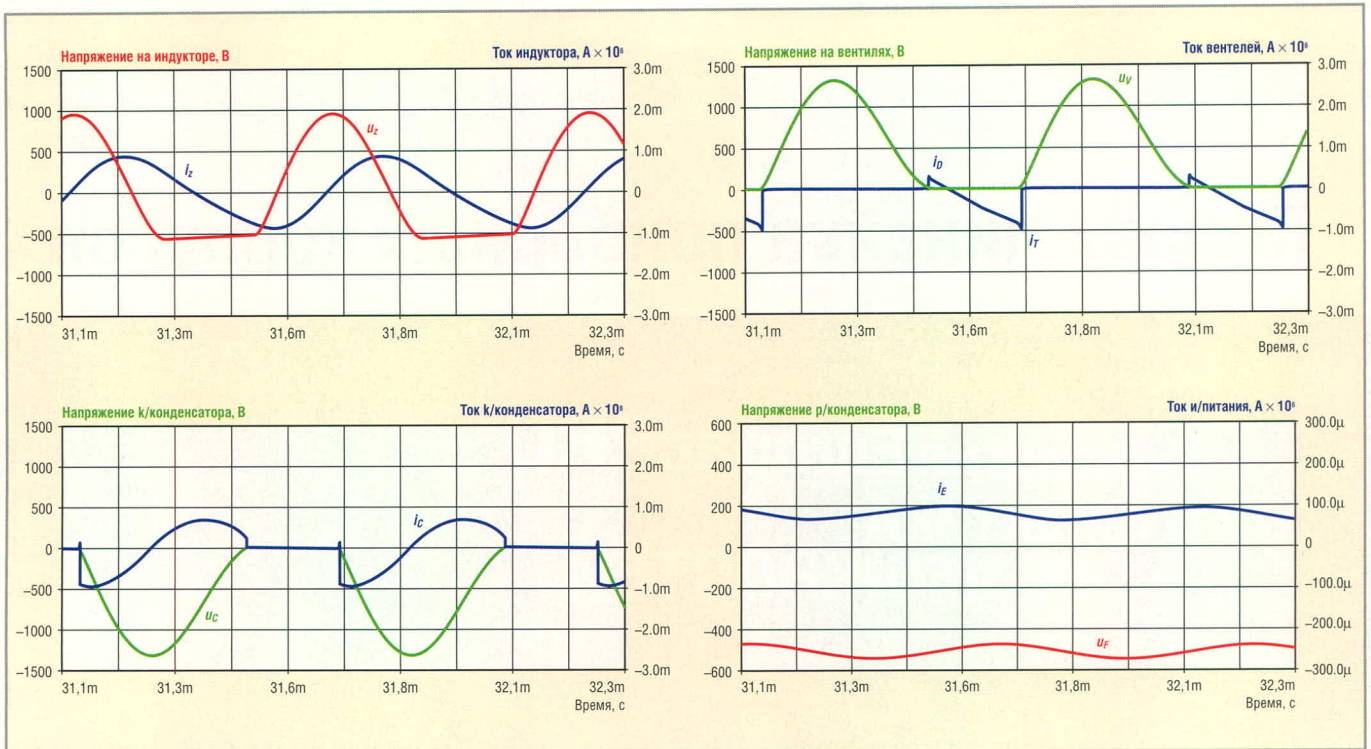


Рис. 4. Осциллограммы сигналов в схеме одноключевого параллельного инвертора напряжения второго вида

вязка, в том числе, удалённой нагрузки и источника питания за счёт разделения (см. рис. 5 и 6) ёмкости фильтра С1 на две (С1, С2) части [7]. Фактически в одноключевых параллельных инверторах с постоянной составляющей тока в нагрузке ёмкостную развязку применить нельзя.

Одноключевой параллельный инвертор напряжения первого вида работает следующим образом. Цикл (пе-

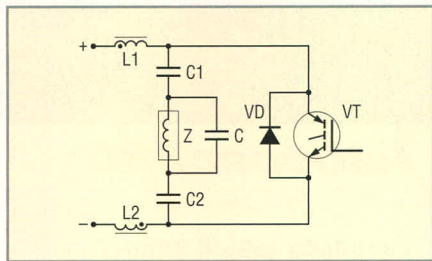


Рис. 5. Схема одноключевого параллельного инвертора напряжения с полной ёмкостной развязкой источника питания и нагрузкой первого вида

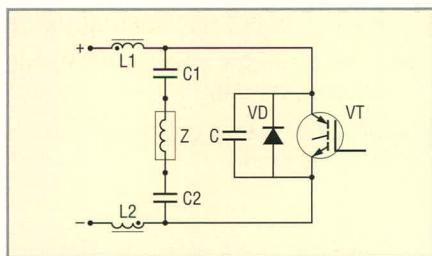


Рис. 6. Схема одноключевого параллельного инвертора напряжения с полной ёмкостной развязкой источника питания и нагрузкой второго вида

риод)  $T$  его работы может быть разделён во времени  $t$  на два интервала линейности: проводящего состояния  $[t_0, t_3]$  вентильной ячейки, состоящей из встречно-параллельного диода VD и управляемого вентиля VT, и интервала паузы  $[t_3, t_{10}]$  или резонансного перезаряда компенсирующего конденсатора С.

На рисунке 3 приведены временные диаграммы токов и напряжений на элементах рассматриваемой схемы одноключевого параллельного инвертора напряжения. На диаграммах даны: мгновенное напряжение  $u_z$  и ток  $i_z$  индуктора Z; мгновенный ток  $i_F$  через нагрузочный контур (L, r, C); мгновенное напряжение на вентильной ячейке  $u_V$  (VT, VD); мгновенные напряжения  $u_T$ ,  $u_D$  и мгновенные токи  $i_T$ ,  $i_D$  транзистора VT и диода VD; мгновенное напряжение  $u_C$  и ток  $i_C$  компенсирующего конденсатора С; напряжение  $u_F$  на разделительном конденсаторе С1 и ток  $i_E$  источника питания. Отметим, что выполняются очевидные равенства:

$$\begin{aligned} u_V &= u_T = -u_D; \\ u_z &= -u_C. \end{aligned} \quad (6)$$

Обозначим интервалы линейности  $[t_0, t_3]$  и  $[t_3, t_{10}]$  соответственно

$$\begin{aligned} \bar{t}_3 &= t_3 - t_0; \\ \bar{t}_{10} &= t_{10} - t_3. \end{aligned} \quad (7)$$

При снижении напряжения  $u_C$  на компенсирующем конденсаторе С до

минимального  $U_C$  (условно отрицательного) значения, равного напряжению  $u_F$  на конденсаторе фильтра С1, в момент времени  $t_0$  включается встречно-параллельный диод VD. Ток  $i_D$  диода VD в момент времени  $t_0$  непосредственно после его включения скачком (если коммутацию считать мгновенной) возрастает от нуля до максимального значения  $I_D$ , равного току  $i_C(t_0)$  компенсирующего конденсатора С перед включением диода VD. Ток  $i_C$  конденсатора С непосредственно после включения диода VD в момент времени  $t_0$  становится равным нулю. Коммутационные потери во встречно-параллельном диоде VD при его включении малы, т.к. напряжение  $u_D(t_0)$  равно нулю. В интервале  $\bar{t}_3$  ток  $i_D$  диода VD изменяется по экспоненциальному закону от максимального значения  $I_D$  до нуля. Напряжение  $u_z$  на индукторе Z в интервале линейности  $\bar{t}_3$  равно напряжению  $u_F$  на разделительном конденсаторе С1. При «большой» ёмкости фильтра С1, соответствующей (5), напряжение  $u_z$  на индукторе Z является квазипостоянным. В момент времени  $t_1$  встречно-параллельный диод VD выключается.

Далее (в момент  $t_1$  непосредственно после выключения диода VD) включается и начинает проводить ток  $i_T$  транзистор VT. Ток  $i_T$  транзистора VT нарастает также по экспоненциальному закону, от нуля до максимального значения  $I_T$  в течение интервала времени  $[t_1, t_3]$ . Ток  $i_z$  индуктора Z в интервале ли-

нейности  $\bar{t}_3$  изменяет направление на противоположное (условно отрицательное). При этом напряжение  $u_Z$  на индукторе Z в интервале  $[t_1, t_3]$  равно напряжению  $u_F$  на разделительном конденсаторе C1. В момент времени  $t_2$  ток  $i_T$  транзистора VT достигает значения  $i_E$  тока источника питания, а ток  $i_Z$  индуктора Z становится равным нулю. Далее ток  $i_Z$  индуктора Z изменяет направление на условно отрицательное. В момент времени  $t_3$  транзистор VT выключается и начинается интервал  $\bar{t}_{10}$  паузы или резонансного перезаряда компенсирующего конденсатора C. Выключение транзистора VT также осуществляется при нулевом уровне напряжения  $u_T$  и, следовательно, при минимальных коммутационных потерях.

Мгновенное напряжение  $u_C$  на компенсирующем конденсаторе C в интервале времени  $\bar{t}_{10}$  изменяется от минимального  $\underline{U}_C$  до максимального  $\underline{U}_C$  значения (в момент времени  $t_7$ ), а далее снова спадает по колебательному закону до минимального значения  $\underline{U}_C$  (в момент времени  $t_{10}$ ). Идентично изменяется напряжение  $u_Z$  на индукторе Z. В момент времени  $t_{10}$ , когда напряже-

ние  $u_C$  на компенсирующем конденсаторе C снова становится равным минимальному (отрицательному) значению  $\underline{U}_C$ , заканчивается период T в работе инвертора. В следующем цикле T электромагнитные процессы в инверторе повторяются.

В интервале времени  $\bar{t}_{10}$  напряжение  $u_Z$  на индукторе Z дважды изменяет знак, а ток  $i_Z$  достигает вначале минимального (максимального по модулю условно отрицательного значения)  $I_Z$ , а затем максимального (условно положительного) значения  $I_Z$ . В интервале паузы ток  $i_Z$  индуктора Z также изменяет знак на противоположный, но только однократно. В момент времени  $t_{10}$  через индуктор Z протекает условно положительный ток  $i_Z$ , равный

$$\begin{aligned} i_Z &= i_E + i_C(t_{10}); \\ i_Z &= i_E + I_D. \end{aligned} \quad (8)$$

Выходное напряжение  $u_Z$  однополюсового параллельного инвертора напряжения первого вида содержит, кроме основной  $\omega$ , также и высшие гармоники. Выходное напряжение  $u_Z$ , как видно из временных диаграмм на рисунке 3, явля-

ется существенно несинусоидальным. А выходной ток  $i_Z$  инвертора из-за фильтрующих свойств параллельного нагрузочного контура (L, r, C) имеет достаточно высокий уровень первой гармоники  $\omega$ . Состав и величины высших гармоник в выходном токе  $i_Z$  зависят от режима работы инвертора. Амплитуды отрицательной  $\underline{I}_Z$  и положительной  $\underline{I}_Z$  полуволн выходного тока  $i_Z$  обычно не равны (по модулю). Однако в рекомендуемых режимах работы они отличаются всего на 2...4%. Если произвести замену реального выходного тока  $i_Z$  эквивалентным периодическим сигналом с амплитудой  $I_Z$ , вычисляемой как

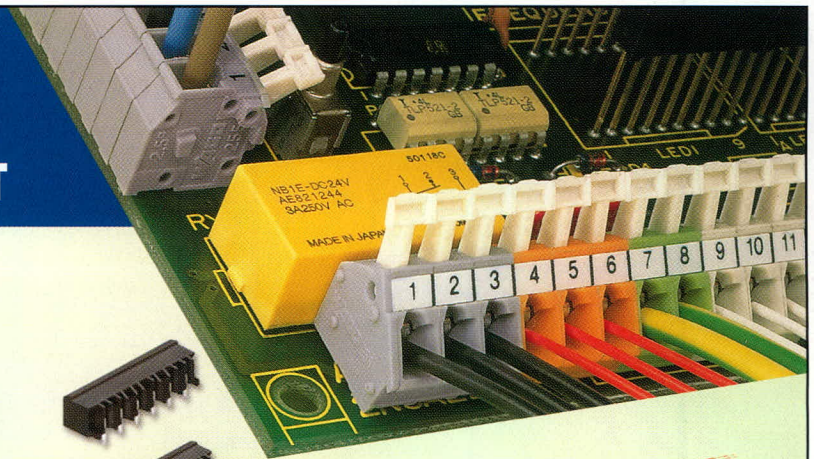
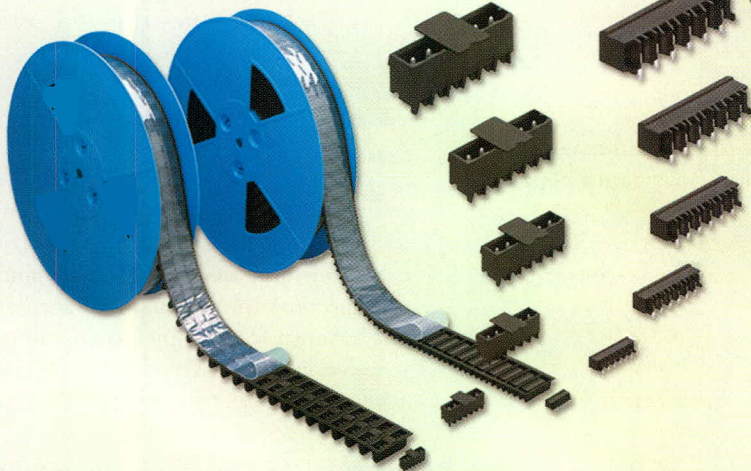
$$I_Z = \frac{I_{Z+} + I_{Z-}}{2}, \quad (9)$$

то коэффициент амплитуды  $\bar{k}_A$  эквивалентного периодического сигнала будет на 3...8% больше стандартного значения для чисто синусоидального тока, что свидетельствует о наличии высших гармоник:

$$\bar{k}_A = \frac{I_Z}{I_Z} > \sqrt{2}, \quad (10)$$

где  $\bar{I}_Z$  – действующий ток индуктора Z.

# Клеммы и соединители для печатных плат



**К монтажу ГОТОВЫ!**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

**PROSOFT**®

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

Напряжение  $u_F$  на разделительном конденсаторе  $C1$  и входной ток  $i_E$  имеют незначительные пульсации (см. рис. 3) с частотой управления инвертором. Величины пульсаций уменьшаются с ростом номинала конденсатора  $C1$  и суммарной индуктивности  $L_1, L_2$  дросселей фильтра  $L1$  и  $L2$ .

Если допустить, что вентили  $VT, VD$  являются идеальными, индуктор  $Z$  представляет собой последовательную электрическую схему с сосредоточенными параметрами  $L, r$ , ёмкость фильтра  $C1$  постоянно заряжена до напряжения источника питания  $E$  (т.е. пульсации напряжения  $u_F$  на разделительном конденсаторе  $C1$  и пульсации входного тока  $i_E$  отсутствуют), а входной ток  $i_E$  равен своему среднему значению  $I_E$ , то в интервале линейности  $\bar{t}_3$  электромагнитные процессы в инверторе описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями первого порядка, а в интервале  $\bar{t}_{10}$  – уравнениями второго порядка. В результате можно исследовать схему одноключевого параллельного инвертора напряжения первого вида аналитически, например, методом припасовывания (интервальным методом).

На рисунке 7 приведены эквивалентные расчётные схемы для данного инвертора напряжения на интервалах линейности  $\bar{t}_3$  и  $\bar{t}_{10}$ , выполненные с учётом принятых допущений. На схемах отмечены направления токов  $i_E, i_F, i_Z, i_D, i_T$  и  $i_C$ , принятые за условно положительные. Ток  $i_T$  транзистора  $VT$  имеет противоположное направление относительно тока  $i_D$  диода  $VD$ .

Для определённости и удобства представления рассчитываемых величин введём некоторые обозначения:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}};$$

$$\sigma = \frac{r}{L};$$

$$D = r \sqrt{\frac{C}{L}};$$

$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{LC}};$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{\sigma^2}{4}};$$

$$D = \frac{1}{Q}. \quad (12)$$

При аналитических расчётах целесообразно использовать систему относительных единиц. Это позволяет отразить результаты в общем виде, инвариантно к напряжениям, мощностям и частотам реального устройства. В качестве базовых величин для вычисления относительных токов  $I$ , напряжений  $U$ , мощностей  $P$ , времён  $t$ , частот  $\omega$ , сопротивлений  $r$ , индуктивностей  $L$  и добротностей  $Q$  соответственно приняты:

$$I = \frac{E}{r};$$

$$U = E;$$

$$P = IU;$$

$$t = \frac{1}{\Omega};$$

$$\omega = \Omega; \quad (13)$$

$$r = \rho;$$

$$L = \frac{r}{\Omega};$$

$$Q = \sqrt{D^2 - \frac{1}{4}}.$$

При этом относительные единицы определяются следующим образом:

$$i^* = \frac{i}{I};$$

$$u^* = \frac{u}{U};$$

$$P^* = \frac{P}{P};$$

$$t^* = \frac{t}{t};$$

$$\omega^* = \sqrt{1 - \frac{D^2}{4}}; \quad (14)$$

$$r^* = \frac{r}{\rho};$$

$$L^* = \frac{L\Omega}{r};$$

$$Q^* = \frac{Q}{Q}.$$

Три последних выражения для  $r^*, L^*$  и  $Q^*$  в системе (14) равнозначны выражениям системы (15):

$$r^* = D;$$

$$L^* = \frac{1}{D}; \quad (15)$$

$$Q^* = \frac{\omega^*}{D^2}.$$

Из первой эквивалентной расчётной схемы на рисунке 7 при выбранных направлениях токов  $i_E, i_Z, i_V, i_D$  для интервала  $\bar{t}_3$  ( $t > t_0$ ), в качестве примера в абсолютных единицах можно записать:

$$i_Z = i_F + i_C;$$

$$i_F = I_E + i_V;$$

$$i_C = 0;$$

$$i_Z = I_E + i_V = I_E + \left(\frac{E}{r} + I_D\right) \exp[-\sigma(t - t_0)] - \frac{E}{r}; \quad (16)$$

$$i_V = \left(\frac{E}{r} + I_D\right) \exp[-\sigma(t - t_0)] - \frac{E}{r};$$

$$u_Z = r i_Z + L \frac{d i_Z}{d t} = U_Z = -E,$$

где  $U_Z$  – минимальное (максимальное по модулю, отрицательное) напряжение на индукторе  $Z$ . При этом в относительных единицах из системы (16) получаем:

$$i_Z^* = i_F^* + i_C^*;$$

$$i_F^* = I_E^* + i_V^*;$$

$$i_C^* = 0;$$

$$i_Z^* = I_E^* + i_V^* = I_E^* +$$

$$+ (1 + I_D^*) \exp[-D(t^* - t_0^*)] - 1; \quad (17)$$

$$i_V^* = (1 + I_D^*) \exp[-D(t^* - t_0^*)] - 1;$$

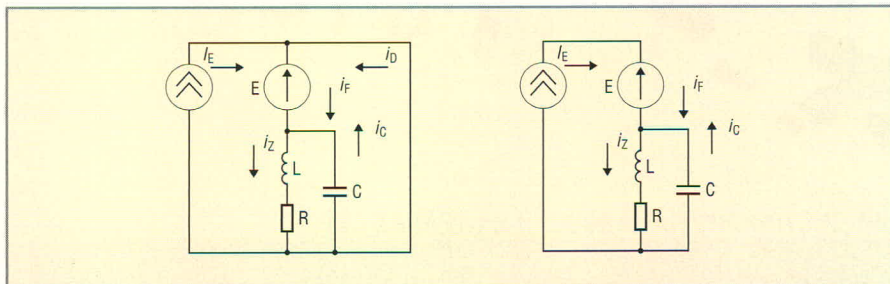


Рис. 7. Эквивалентные расчётные схемы одноключевого параллельного инвертора напряжения первого вида на интервалах линейности

$$u_Z^* = i_Z^* + \frac{1}{D} \frac{di_Z^*}{dt^*} = \underline{U}_Z^* = -1.$$

В момент времени  $t_1^*$  ток  $i_V^*$  ( $i_V^* = i_D^*$ ) равен нулю. Из выражения (17) определяем относительный момент времени

$$t_1^* = t_0^* + \frac{1}{D} \ln(1 + I_D^*). \quad (18)$$

В интервале  $[t_0^*, t_1^*]$  напряжения на транзисторе VT ( $u_T^*$ ) и встречно-параллельном диоде VD ( $u_D^*$ ) в соответствии с (6) равны нулю, а напряжение на компенсирующем конденсаторе C ( $u_C^*$ ) равно 1. Таким образом, можно записать:

$$\begin{aligned} u_T^* &= -u_D^* = 0; \\ u_C^* &= 1. \end{aligned} \quad (19)$$

Переносим начало отсчёта в точку  $t_1^*$ . В интервале  $[t_1^*, t_3^*]$  токи  $i_Z^*$  индуктора Z и  $i_T^*$  транзистора VT напряжение  $u_Z^*$  на индукторе Z определяются зависимостями:

$$\begin{aligned} i_Z^* &= I_E^* + \exp[-D(t^* - t_1^*)] - 1; \\ i_T^* &= \exp[-D(t^* - t_1^*)] - 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_T^* &= \exp[-D(t_3^* - t_1^*)] - 1; \\ u_Z^* &= -1. \end{aligned} \quad (20)$$

Из системы (20) находим относительные моменты времени  $t_2^*, t_3^*$  (через момент времени  $t_1^*$ ), и из систем (19), (20) – момент времени  $t_2^*$  (через момент времени  $t_0^*$ ) и интервал линейности  $\bar{t}_3^*$ :

$$\begin{aligned} t_2^* &= t_1^* + \frac{1}{D} \ln\left(\frac{1}{1 - I_E^*}\right); \\ t_3^* &= t_1^* + \frac{1}{D} \ln\left(\frac{1}{1 + I_T^*}\right); \\ t_2^* &= t_0^* + \frac{1}{D} \ln\left(\frac{1 + I_D^*}{1 - I_E^*}\right); \\ \bar{t}_3^* &= \frac{1}{D} \ln\left(\frac{1 + I_D^*}{1 + I_T^*}\right). \end{aligned} \quad (21)$$

Ещё раз отметим, что ток  $i_T^*$  транзистора VT имеет противоположное относительно тока  $i_D^*$  диода VD направление.

Продолжение следует

### ЛИТЕРАТУРА

1. Изюмов Н.М., Линде Д.П. Основы радиотехники, 4-е изд. Радио и связь, 1983.
2. Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. Энергоатомиздат, 1986.
3. Дзюев С.В., Силкин Е.М., Тазихин С.Н. и др. Устройство для индукционного нагрева. А.с. 1800659, СССР, МКИ Н05 В 6/06. 1993. БИ № 9.
4. Силкин Е.М., Мизин Г.В., Пахалин А.И. и др. Способ управления преобразователем частоты. Патент 2020711, РФ, МКИ Н02 М 5/458. 1994. БИ № 18.
5. Рогинская Л.Э., Иванов А.В., Мульменко М.М. и др. Электромагнитные процессы и параметрический синтез одновентильных инверторов с обратным диодом для электротермии. Электричество. 2003. № 12. С. 40–45.
6. Силкин Е.М. Автономный одноключевой параллельный инвертор напряжения Заявка 2009101618, РФ, МКИ Н02 М 7/5387. 2009. БИ № 1.
7. Силкин Е.М. Параллельный инвертор напряжения. Заявка 2009103491, РФ, МКИ Н02 М 7/5387. БИ 2009. № 2.



**Радел**  
**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**  
IX Международная специализированная выставка

- Электронные компоненты
- Комплекующие
- Печатные платы
- Материалы
- Конструктивы
- Технологии
- Промышленное оборудование и инструменты
- Контрольно-измерительные приборы и лабораторное оборудование
- Контрактное производство электроники

В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. АВТОМАТИЗАЦИЯ»

**АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
X международная специализированная выставка

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**  
IX международная специализированная выставка

**ЭЛЕКТРОНИКА СИСТЕМ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**  
Специализированная выставка

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**  
II Специализированная выставка

**FAREXPO** Техно&Ком

**2 - 4 декабря 2009**  
Санкт-Петербург, СКК

www.farexpo.ru/radel  
e-mail: radel2@orticon.com  
тел./факс: (812) 777 04 07

Реклама

# 1-3 декабря 2009

Москва, Конгресс-центр ЦМТ 



6-я Международная специализированная выставка

## СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ЭНЕРГЕТИКА



Датчики и сенсоры • Источники питания • Магниты и материалы сердечников •  
Пассивные компоненты • Полупроводниковые компоненты • Преобразователи  
напряжения • Сервомоторы и актюаторы • Тестирование и измерение •  
Атомная энергетика • Гидроэнергетика • Инжиниринговые услуги • Тепловая  
энергетика • Технологии энергоэффективности и энергосбережения •  
Электротехника • Электроэнергетика

Реклама

[www.powertek.ru](http://www.powertek.ru)  
[www.powerelectronics.ru](http://www.powerelectronics.ru)

Организаторы:



primexpo



ufi



Тел.: +7 (812) 380 6003/07  
Факс: +7 (812) 380 6001  
E-mail: [power@primexpo.ru](mailto:power@primexpo.ru)



### **Уважаемый читатель!**

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.

#### **Преимущества платной подписки:**

- 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) 101-2550. 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.

#### **«Вся пресса»**

тел.: (499) 906-0735; 906-0726 ● [allpress@sovintel.ru](mailto:allpress@sovintel.ru)

#### **«ЭксПресс»**

тел.: (495) 234-2380 ● факс: (495) 783-9029

#### **«Артос-ГАЛ»**

тел.: (495) 981-03-24, 788-39-88 ● [artos-gal@mail.ru](mailto:artos-gal@mail.ru)

#### **«Интер-Почта-2003»**

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

#### **«Орикон-М»**

тел./факс: (495) 937-4959, 937-4958 ● [oricon@sovintel.ru](mailto:oricon@sovintel.ru)

#### **«Урал-Пресс»**

<http://www.uralpress.ur.ru>

Читатели из дальнего зарубежья могут оформить подписку через агентство

#### **«МК-Периодика»**

тел.: +7 (495) 681-9137; 681-8747 ● факс: +7 (495) 681-3798 ● <http://www.periodicals.ru/>



Редакция журнала «Современная электроника» предлагает вам оформить подписку на 2010 г.

**Для получения бесплатной подписки** на журнал «Современная электроника» на 2010 г. заполните данную анкету и отправьте ее по факсу (495) 232-1653 или адресу 119313 Москва, а/я 26.

Анкету можно также заполнить на сайте журнала «Современная электроника» <http://www.soel.ru/>

Обращаем ваше внимание, что редакция оформляет бесплатную подписку только в пределах РФ и только для квалифицированных специалистов, аккуратно и полностью заполнивших анкету.

Поля, отмеченные \*, обязательны для заполнения. Можно отмечать несколько пунктов в одном разделе анкеты.

**Для гарантированного получения** журнала «Современная электроника» можно оформить платную подписку, информация о ней есть на сайте <http://www.soel.ru/>.

 / 

Укажите в этом поле ваш идентификационный номер из двух чисел, напечатанный на адресной наклейке конверта, в котором вы получаете журнал, – это ускорит обработку анкеты

Фамилия, имя, отчество\* \_\_\_\_\_

Организация\* \_\_\_\_\_

Должность\* \_\_\_\_\_ Отдел \_\_\_\_\_

Телефон\* \_\_\_\_\_ Факс\* \_\_\_\_\_

E-mail\* \_\_\_\_\_ Сайт\* \_\_\_\_\_

Адрес предприятия\*: \_\_\_\_\_

Почтовый индекс, город\*: \_\_\_\_\_

Район, область\*: \_\_\_\_\_

Адрес\*: \_\_\_\_\_

Почтовый адрес для доставки журнала «Современная электроника», если он отличается от адреса предприятия:

Почтовый индекс, город: \_\_\_\_\_

Район, область: \_\_\_\_\_

Адрес: \_\_\_\_\_

#### Тип вашей должности:

- Руководитель/менеджер высшего звена  
 Руководитель отдела, группы, участка, ...  
 Менеджер по закупкам/снабжению  
 Технический руководитель проекта

- Инженер-разработчик  
 Инженер по технической поддержке/обслуживанию  
 Преподаватель, научный сотрудник, аспирант  
 Другой \_\_\_\_\_

#### Область деятельности вашей организации\*:

- Телекоммуникации, связь  
 Автомобильная промышленность  
 Авиация, космонавтика, ВПК  
 Бытовая электроника  
 Системы безопасности  
 Торговое оборудование  
 Энергетика  
 Вычислительная техника  
 Приборостроение

- Медицина  
 Системы отображения информации  
 Промышленная автоматизация  
 Силовая электроника  
 Транспорт  
 Автоматизация зданий, умный дом  
 Светотехника  
 Другое \_\_\_\_\_

#### Вид деятельности вашей организации\*:

- Производство мелкосерийное  
 Производство крупносерийное  
 Торговля оптовая  
 Торговля розничная

- Научные исследования  
 Опытно-конструкторские разработки  
 Образование  
 Другое \_\_\_\_\_

#### Вы рекомендуете, принимаете решение о применении или закупаете следующие компоненты:

- Цифровые микросхемы и микропроцессоры  
 Аналого-цифровые компоненты  
 Пассивные и дискретные компоненты  
 Аналоговые компоненты  
 Силовые компоненты  
 СВЧ-компоненты

- Электромеханические компоненты  
 Изделия полупроводниковой светотехники  
 Оптоэлектронные компоненты  
 Устройства отображения информации  
 Компоненты для телекоммуникаций и связи  
 Другое \_\_\_\_\_

#### Количество сотрудников в вашей организации:

- До 10 чел.  
 10 – 50 чел.  
 50 – 100 чел.  
 Более 100 чел.  
 Более 1000 чел.



**ЭЛЕКТРОНИКА**  
КОМПОНЕНТЫ • ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ

# ChipEXPO -2009

ОКТАБРЬ 21-23  
7-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
РОССИЯ • МОСКВА • ЭКСПОЦЕНТР

**ВЕДУЩАЯ РОССИЙСКАЯ  
ВЫСТАВКА ПРИГЛАШАЕТ!**

СОВМЕСТНЫЙ «ПРОИЗВОДСТВО  
ПРОЕКТ С ЭЛЕКТРОНИКИ В РОССИИ»

Реклама

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Министерство промышленности  
и торговли Российской Федерации  
Департамент науки и промышленной  
политики города Москвы  
Московская торгово-промышленная палата  
Российская Инженерная Академия

ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ПОДДЕРЖКА

**КОМПОНЕНТЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ**

ЖУРНАЛ  
**CHIP  
NEWS**  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

**ЭЛЕКТРОНИКА**  
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ  
ЭЛЕКТРОНИКА

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ  
**ЭЛЕКТРОНИКА**

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

# ТОРО

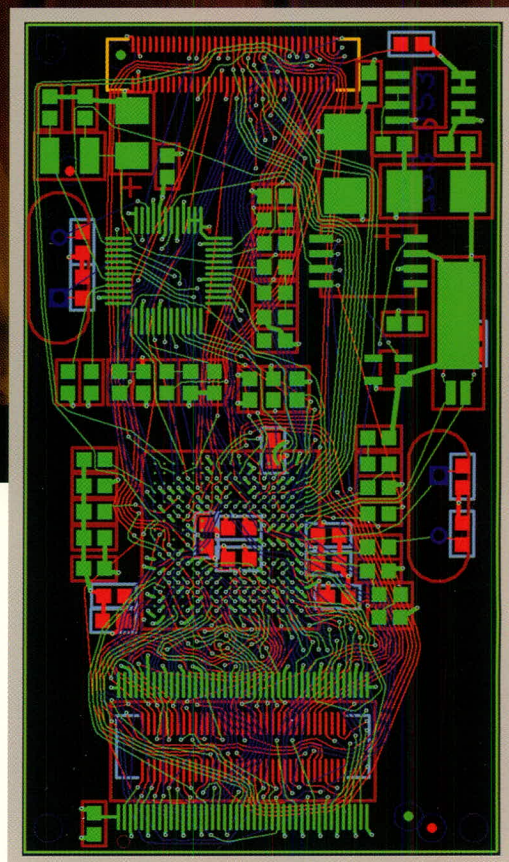
Инструмент для создания шедевра!



## Торор —

трассировщик печатных плат

- Высокопроизводительный, не имеющий аналогов топологический трассировщик
- Великолепное качество трассировки
- Сокращение сроков разработки электронных устройств
- Отсутствие преимущественных направлений трассировки в слоях, что существенно снижает уровень параллельности трасс и уменьшает уровень перекрестных электромагнитных помех



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

**PROSOFT**<sup>®</sup>

г. Санкт-Петербург: Телефон: +7(812) 448-0444 • Факс: +7(812) 448-0339  
E-mail: [topor@freestyleteam.ru](mailto:topor@freestyleteam.ru) • Web: [www.freestyleteam.com](http://www.freestyleteam.com)