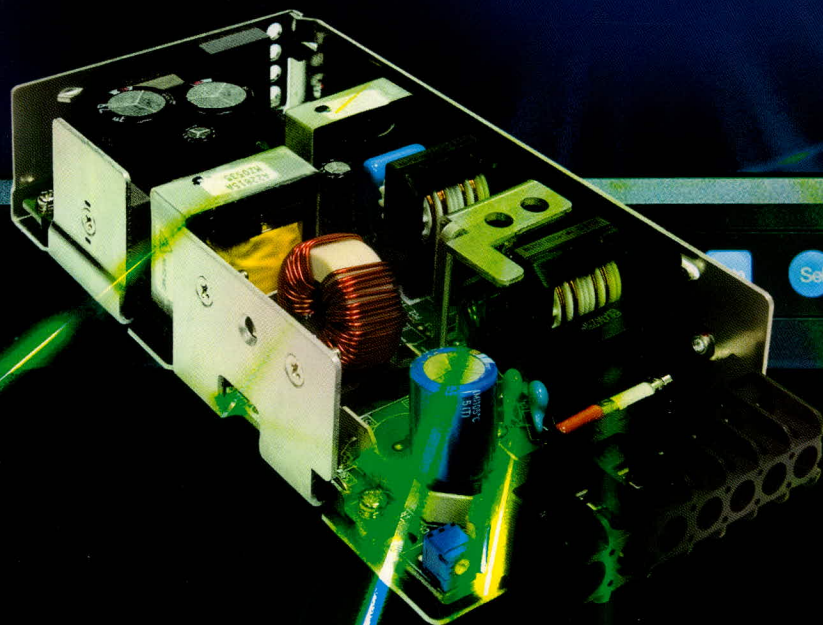


# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

7  
2007

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

- дисплеи
- источники питания



# POWER ELECTRONICS



4-я Международная  
специализированная выставка

# Силовая Электроника

24-26 октября 2007

Москва, Конгресс-центр ЦМТ



Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC

Тел.: +7 (812) 380 6000/03/07

Факс: +7 (812) 380 6001

E-mail: [power@primexpo.ru](mailto:power@primexpo.ru)

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

**Главный редактор**

Александр Майстренко

**Зам. главного редактора**

Татьяна Крюк

**Редакционная коллегия**

Андрей Данилов, Григорий Маркаров,  
Олег Федоров

**Дизайн и верстка**

Татьяна Крюк, Александр Либков,  
Дмитрий Юсим

**Web-мастер**

Дмитрий Романчук

**Служба распространения**

(circul@soel.ru) Ирина Самохина,  
Мария Кашайкина

**Служба рекламы**

advert@soel.ru

**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 11 000 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:

Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

www.pkpp.ru

Перепечатка материалов допускается только

с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы

несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей

несут авторы.

Материалы, переданные редакции,

не рецензируются и не возвращаются.

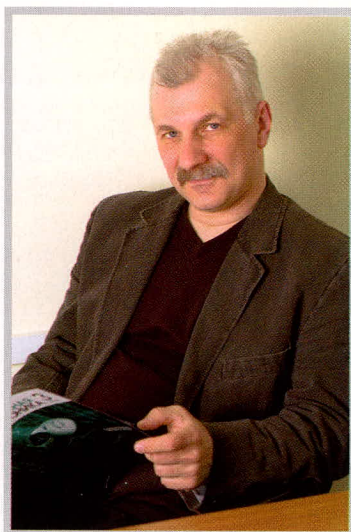
© СТА-ПРЕСС, 2007

Для дизайна обложки журнала

«Современная электроника» № 5, 2007 г.

были использованы материалы фирмы Promwad

(www.promwad.com).



## Уважаемые читатели!

У этого номера журнала две темы: «Дисплеи» и «Источники питания». Обе темы интересны и неисчерпаемы.

В последние годы мы с вами являемся свидетелями бурного развития дисплейных технологий. Кинескоп, не одно десятилетие бывший основным прибором для отображения визуальной информации, уступил свои позиции плоским дисплеям. Именно в этой области сейчас разворачивается борьба за рынок. Ведущие производители LCD-дисплеев строят заводы 10-го поколения, которые будут выпускать подложки для экранов размером до 60 дюймов, и вскоре относительно недорогие LCD-дисплеи больших размеров начнут вытеснять с этого сектора рынка его нынешнего хозяина – плазму. Но надолго ли жидким кристаллам удастся удержать своё первенство? Думаю, нет. Одним из претендентов на будущее лидерство уже сейчас можно назвать OLED-технологии. Сейчас небольшие OLED-дисплеи используются в мобильной аппаратуре: телефонах, плеерах и т.п. Тут будет уместно вспомнить, что и жидкокристаллические дисплеи начинали с малого, а именно, с наручных часов. Но в Интернете уже были сообщения о предстоящем выходе на рынок OLED-телевизоров с диагональю 27 дюймов. Похоже, что это начало очередного витка развития дисплейных технологий.

Развитие технологий источников питания не так зрелищно, как развитие дисплейных технологий, но не менее интересно. В секторе импульсных вторичных источников питания борьба ведётся за КПД и удельную мощность, но производители не забывают и о таких важных для потребителя аспектах, как безопасность, надёжность, универсальность, удобство управления и использования. Значительный прогресс химических источников тока позволяет уже сейчас использовать их не только в электромотоциклах и электромотоциклах, но даже в электросамолётах. Сейчас удельная ёмкость ХИТ мала, а стоимость высока для того, чтобы создать заметную конкуренцию двигателям внутреннего сгорания. Но я уверен, что в историческом аспекте судьба последних уже предрешена. Нам остаётся только следить за событиями. А может, и влиять на них.

*С наилучшими пожеланиями,  
Александр Майстренко*

## Market

|  |   |
|--|---|
| News of the Russian Market .....   | 4 |
| Application of Modern Foreign Industrial Electronic Components in Space Technology ..... | 8 |
| <i>Nikolay Danilin, Sergey Belosludtsev</i>  |   |

## Modern Technologies

|  |    |
|--|----|
| Projection Display Technologies at SID'07 .....              | 14 |
| <i>Aleksandr Samarin</i>                                     |    |
| Diagnostics of Chemical Current Sources .....                | 20 |
| <i>Alevtina Taganova</i>                                     |    |
| High-Value Capacitors for Future 0.5-V Nanoelectronics ..... | 24 |
| <i>Aleksandr Despotuli, Aleksandra Andreeva</i>              |    |

## Components

|  |    |
|--|----|
| General-Purpose LCD-Panels from LG.Philips LCD ..... | 32 |
| <i>Igor Bezverkhni</i>                               |    |

## Circuit Design

|   |    |
|---|----|
| Universal Input Switching Mode Power Supplies ..... | 38 |
| <i>Vladimir Lantsov, Sarkis Eranosyan</i>           |    |

## Units and Modules

|  |    |
|--|----|
| 128 × 64 and 256 × 64 Indicator VFD Modules from Noritake Itron .....  | 44 |
| <i>Sergey Antonov</i>  |    |
| Zippy Piezo Inverters: the Up-to-Date Solution for LCD Backlight ..... | 46 |
| <i>Andrey Golovastov</i>   |    |

## Projects

|   |    |
|---|----|
| Microprocessor-Controlled High-Voltage High-Power Switching Mode Power Supplies ..... | 52 |
| <i>Evgeniy Vladimirov, Vladimir Lantsov, Olga Lebedeva</i>                            |    |
| Open Project of ARM-Dominator Multipurpose Controller (Part 2) .....                  | 56 |
| <i>Aleksandr Eliseev</i>  |    |

## Design and Simulation

|   |    |
|---|----|
| Macromodel of the TOPSwitch IC .....  | 64 |
| <i>Vyacheslav Morozov</i>   |    |
| Reliability Estimation of Power Supplies for Electronics .....                    | 70 |
| <i>Vyacheslav Isaev, Aleksandr Vyalov</i>   |    |
| Practical Course of Design of Digital Devices Based on Xilinx FPGA (Part 7) ..... | 72 |
| <i>Valeriy Zotov</i>  |    |

## Programming

|   |    |
|---|----|
| Software Development for Pocket PCs, Communicators,<br>and Smartphones Using Pelles C for Windows ..... | 76 |
| <i>Oleg Valpa</i>   |    |

## Рынок

- 4 Новости российского рынка
- 8 Проблемы применения современной индустриальной электронной компонентной базы иностранного производства в ракетно-космической технике  
*Николай Данилин, Сергей Белослудцев*

## Современные технологии

- 14 Проекционные дисплейные технологии, представленные на SID`07  
*Александр Самарин*
- 20 Диагностика химических источников тока  
*Алевтина Таганова*
- 24 Высокоёмкие конденсаторы для 0,5-вольтовой наноэлектроники будущего  
*Александр Деспотули, Александра Андреева*

## Компоненты

- 32 LCD-панели широкого применения от LG.Philips LCD  
*Игорь Безверхний*

## Схемные решения

- 38 Импульсные источники вторичного электропитания с универсальным входом  
*Владимир Ланцов, СаркисЭраносян*

## Узлы и модули

- 44 Индикаторные VFD-модули Noritake Itron формата 128 × 64 и 256 × 64  
*Сергей Антонов*
- 46 Пьезоинверторы компании Zirpu – передовое решение для систем подсветки ЖК-дисплеев  
*Андрей Головастов*

## Проекты

- 52 Высоковольтный импульсный источник питания большой мощности с управлением от микропроцессора  
*Евгений Владимиров, Владимир Ланцов, Ольга Лебедева*
- 56 Открытый проект многоцелевого контроллера общего применения ARM-Dominator (часть 2)  
*Александр Елисеев*

## Проектирование и моделирование

- 64 Макромодель микросхемы TOPSwitch  
*Вячеслав Морозов*
- 70 Об оценке надёжности источников вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры  
*Вячеслав Исаев, Александр Вялов*
- 72 Практический курс сквозного проектирования цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx (часть 7)  
*Валерий Зотов*

## Программирование

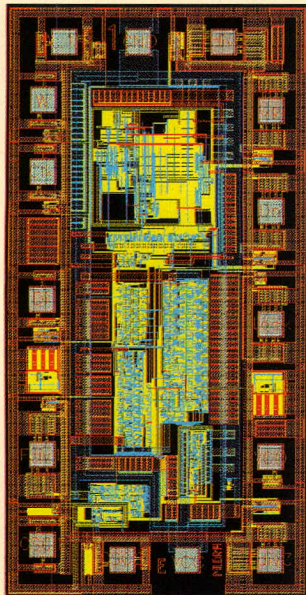
- 76 Разработка программ для КПК, коммуникаторов и смартфонов с помощью Pelles C for Windows  
*Олег Вальпа*

## Новости российского рынка

### Компоненты

#### Экспериментальные образцы цифрового синтезатора частоты 1508ПЛ10АТ(ПЛ10БТ) с частотой до 2 ГГц компании «Миландр»

Микросхема предназначена для применения в приёмопередающей аппаратуре в качестве основного элемента ФАПЧ. Синтезатор функционирует в частотном диапазоне до 2 ГГц (частота основного канала), имеет режим токового выхода фазового детектора, который не требует внешних ключей, а также большой набор функциональных возможностей. В микросхеме



предусмотрен последовательный интерфейс управления, через который загружаются коэффициенты деления основного и опорного каналов, коды управления (полярность частотно-фазового детектора, тип выходов микросхемы, время «мёртвой зоны» ФД, режим выхода фазового детектора). В состав микросхемы входят малошумящий входной усилитель, предделитель 15/16, основной и поглощающий делитель, фазочастотный детектор, источник тока. Микросхема выпускается в кор-

пусе 401.14-5. Спецификация на микросхему находится на сайте компании.

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

Тел. (495) 739-0282

#### Синхронный DC/DC-преобразователь

Компания Austriamicrosystems пополнила свою линейку выпускаемой продукции новым чипом. Микросхема AS1326 представляет собой синхронный DC/DC-конвертер в корпусе TDFN-10 (3 × 3 мм) с максимальным выходным током 800 мА, работающий в диапазоне входных напряжении 0,7...5,0 В. КПД преобразования нового чипа достигает 96%. Выходное напряжение конвертера может быть фиксированным – 3,3 В или задано в диапазоне 2,5...5,0 В с помощью двух внешних резисторов.

Микросхема работает на частоте 1 МГц, в системах, чувствительных к шуму, микросхема может быть синхронизирована внешним генератором с частотой 0,5...1,2 МГц. Другой особенностью микросхемы является функция сохранения энергии, которая позволяет более эффективно преобразовывать напряжение при токах нагрузки менее 1 мА.

Кроме всего прочего, микросхема имеет ряд полезных функций, таких как защитное отключение при падении напряжения на источнике питания менее 0,7 В, плавный старт, защита от короткого замыкания и «спящий» режим, в котором ток потребления не превышает 0,1 мкА.

Эти и другие особенности микросхемы делают её незаменимой при использовании в мобильных устройствах, GPS-



приёмниках, цифровых камерах или других устройствах, работающих от автономных источников тока. Микросхемы работают при температуре –40...+85°C.

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

Тел. (495) 232-2522

#### Энкодер для бесконтактного интерфейса

Austriamicrosystem представила свой новый продукт AS5046. Микросхема представляет собой прецизионный магнитный датчик угла поворота с разрешением 12 бит. Система измерения угла состоит из микросхемы и поворотного магнита, размещённого на небольшом расстоянии над корпусом микросхемы. Сигнальный процессор, встроенный на кристалл, рассчитывает угол поворота магнита, используя данные напряжённости магнитного поля над датчиками Холла, интегрированными на кристалле вдоль окружности диаметром 2,2 мм.

Информация об угле поворота магнита выдаётся на цифровой последовательный



интерфейс. Возможность получить информацию о напряжённости магнитного поля над каждым из восьми датчиков Холла позволяет реализовать на базе микросхемы бесконтактный джойстик при использовании диаметрально поляризованного магнита, в котором можно точно определить угол наклона манипулятора по двум осям.

Напряжение питания микросхемы 3,3 или 5 В. Микросхема работает в температурном диапазоне –40...+125°C и имеет корпус с размерами 5,3 × 6,2 мм (SSOP 16).

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

Тел. (495) 232-2522

### Узлы и модули

#### Ультрапрецизионный малогабаритный кварцевый генератор с двойным термостатированием ГК180-ТС

ОАО «МОРИОН» (С.-Петербург) успешно выпускает новый тип кварцевого генератора – ГК180-ТС. Этот генератор

является развитием уже широко применяющихся ультрапрецизионных генераторов ГК89-ТС и ГК142-ТС и выгодно отличается малой высотой – всего 19 мм – при том же уровне характеристик. ГК180-ТС выпускается в стандартных корпусах с размерами 51 × 51 × 19 мм и 51 × 41 × 19 мм, со стандартным расположением

и назначением выводов. Возможны поставки как с 12-В, так и с 5-В питанием. Двойной термостат обеспечивает низкую чувствительность генератора к резким изменениям температуры в интервалах до –40...+70°C и нестабильностью частоты на уровне 10<sup>-10</sup>. Конструкция и технология производства обеспечивают долго-

## Новости российского рынка



временную нестабильность частоты на уровне  $10^{-6}$ /год. Комбинация габаритов и стабильности в сочетании с конкурентоспособной ценой делает ГК180-ТС крайне удобным для применения в различных телекоммуникационном (CDMA, WCDMA и т.п.), навигационном и измерительном оборудовании. Диапазон частот от 5,0 до 20,0 МГц. При этом частоты 5,0; 8,192; 10,0; 16,384 МГц являются стандартными.

[www.morion.com.ru](http://www.morion.com.ru)  
Тел. (812) 350-7572,  
350-9243

### DC/DC-преобразователи с широким диапазоном входных напряжений для жёстких условий эксплуатации

Компания XP Power объявила о начале поставок новой серии DC/DC-преобразователей MQP120, специально разработанной для систем, которые должны работать от сетей постоянного напряжения с номинальными значениями вход-



ных напряжений 12 и 24/28 В. Модули идеально приспособлены для оборудования военного назначения, которое может быть установлено на военных и гражданских транспортных средствах. Преобразователи приспособлены для работы от сети постоянного напряжения 9...40 В и имеют выходную мощность 120 Вт. Доступны модели с номинальными значениями выходных напряжений 3,3; 5; 12; 15 и 24 В.

Преобразователи серии MQP120 выполнены в виде корпусированных герметизированных модулей, стойких к воздействию ударов, вибрации и пыли. Модули отличаются компактностью (габариты 95 × 11,5 × 65 мм) и высокой удельной мощностью (26,7 Вт/дюйм<sup>3</sup>). Диапазон рабочих температур по основанию корпуса составляет -40...+100°C. Устанавливаемый по заказу радиатор упрощает обеспечение нормального теплового режима.

Типичными системами, в которых могут применяться MQP120, являются: связное оборудование, средства обнаружения и системы вооружения на военных платформах.

Модули серии MQP120 соответствуют требованиям военных стандартов MIL-STD-461 и MIL-STD-1275A-D к устойчивости к электромагнитным помехам.

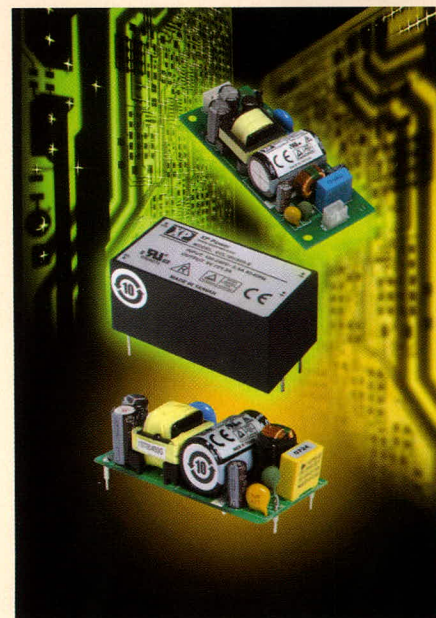
[prosoft.ru](http://prosoft.ru)  
Тел. (495) 234-0636

### Компактные источники питания AC/DC с выходными мощностями 10 и 15 Вт для монтажа на печатную плату и шасси

Компания XP Power приступила к поставкам сверхкомпактных источников питания средней мощности серии ECL.

Изделия этой серии с выходными мощностями 10 Вт (ряд ECL10) и 15 Вт (ECL15) выпускаются в трёх конструктивных исполнениях: открытого типа для монтажа на печатную плату, герметизированные для монтажа на печатную плату и открытого типа для монтажа на шасси.

Источники питания серий ECL10 и ECL15 доступны в одноканальном исполнении с выходными напряжениями 3,3; 5; 9; 12; 15; 24 и 48 В. Полная мощность в нагрузке обеспечивается во всём диапазоне входных напряжений 85...264 В переменного тока (120...370 В постоянного тока). Диапазон рабочих температур -20...+70°C с понижением выходной мощ-



ности при температурах выше +50°C. Пиковая мощность в нагрузке в течение 30 с составляет 130% от номинального значения, кроме того, модули обеспечивают полную мощность при конвекционном отводе тепла, вследствие чего отсутствует необходимость в дополнительных теплоотводящих компонентах или охлаждающих вентиляторах.

Для обеспечения электромагнитной совместимости не требуется применение внешних фильтров, так как источники питания соответствуют требованиям стандарта EN55022 (класс B) для кондуктивных помех и помех излучения.

Серии ECL10 и ECL15 могут применяться в оборудовании классов I и II (классы оборудования по защите от поражения электрическим током): как с подключением к защитному заземлению, так и без подключения. Из этого следует, что данные изделия могут применяться в портативном оборудовании и в тех случаях, когда недоступны средства подключения к защитному заземлению.

По мнению XP Power, в серии ECL представлены самые компактные в мире источники питания этого класса (10 Вт, AC/DC) в данном конструктивном исполнении. В частности, источники питания ECL10 открытого типа для монтажа на печатную плату имеют габариты 25,4 × 50,8 × 22,8 мм и значение удельной мощности 5,6 Вт/дюйм<sup>3</sup>.

Серия ECL обеспечивает компактность конечного переносного и стационарного оборудования. Данные изделия актуальны для недорогих маломощных применений, когда доступный объём для монтажа ограничен.

## Новости российского рынка

Приобрести источники питания серий ECL10 и ECL15 можно у официального дистрибьютора XP Power в России, странах СНГ и Балтии – компании ПРОСОФТ.

*prosoft.ru*

*Тел. (495) 234-0636*

### DPP120 – источник питания повышенной мощности

Компания Lambda расширила серию DPP, выпустив одноканальную модель с выходной мощностью 120 Вт. Новая модель получила название DPP120.

Среди её сервисных функций – встроенный активный корректор коэффициента мощности и прямоугольной характеристики токового ограничения, позволяющий включать параллельно до трёх блоков, а также защита от перегрузки по току и от перенапряжения. При конвекционном отводе тепла данные источники питания способны работать в диапазоне температур –25...+71°C.

Источники питания DPP120 способны работать в диапазоне входных напряжений 90...132/186...264 В с автоматическим выбором диапазона и обеспечивают на выходе номинальные напряжения 12, 24 и 48 В. В частности, модели с выходным напряжением 24 В оснащаются релейным выходом состояния выходного напряжения (DC Good). Светодиоды зелёного и красного свечения указывают состояние выходного напряжения у всех моделей. Типичное значение КПД составляет 87%.

Следует отметить, что DPP120 соответствуют особым требованиям системных интеграторов, использующих эти источники питания повышенной мощности для монтажа на DIN-рейку, например, в лифтах и платёжных терминалах.

При габаритах 125 × 63, 5 × 123,6 мм модели DPP120 являются компактным и надёжным выбором для широкого ряда применений, включая системы управления технологическими процессами, системы химического обогащения, а также испытательное оборудование. Металлический корпус и прочная конструкция отвечают требованиям стандарта безопасности UL508 для промышленного управляющего оборудования, что является заслуживающим внимания преимуществом в тех случаях, когда система используется в жёстких условиях. Блоки DPP120 соответствуют требованиям к кондуктив-

ным помехам для класса В и требованиям стандарта EN61000-3-2 (ГОСТ Р 51317.3.2-99) к гармоническим составляющим потребляемого тока.

Источники питания DPP120 дополняют существующие модели серии DPP с выходными мощностями от 15 до 480 Вт. Решение об их выпуске было продиктовано требованиями рынка – особой популярностью заказчиков пользуются недорогие источники питания средней мощности для монтажа на DIN-рейку.

Приобрести источники питания серии DPP, в том числе и DPP120, можно у авторизованного дистрибьютора Lambda в России – компании ПРОСОФТ.

*prosoft.ru*

*Тел. (495) 234-0636*

### Источники питания AC/DC серии SWS600L – для применений внутри и вне помещений

Компания Lambda представляет серию SWS600L – новые 600-ваттные одноканальные источники питания. Новая серия отвечает всем требованиям, предъявляемым к приборам, которые применяются внутри и вне помещений, в том числе в дисплейных системах, а также световой наружной и внутренней рекламе.

Новые источники характеризуются небольшой стоимостью и низким профилем, имея при этом активную коррекцию коэффициента мощности и защиту от воздействия импульсов напряжения.

Источники питания серии SWS600L обеспечивают напряжение от 3,3 до 60 В, пиковая мощность в нагрузке составляет 744 Вт. Важными свойствами являются также дополнительный выход 12 В/0,1 А, сигнал аварийного состояния вентилятора и сигнал статуса выходного напряжения.

Способные работать в диапазоне температур –20...+74°C, с возможностью запуска при температуре –40°C (при 100%-нагрузке), SWS600L являются надёжным выбором для систем, подвергающихся воздействиям предельных температур – например, для систем управления дорожными знаками.

Между тем, применение вентилятора, скорость вращения которого зависит от температуры (что минимизирует акустические шумы), означает, что эти источники питания в равной степени пригодны для применений и внутри помещений.

Блок SWS600L, работающий при температуре внешней среды 25°C, имеет типовое значение шума вентилятора только 43,5 дБ и является идеальным, например, для обеспечения питанием лабораторного оборудования или торговых автоматов.

Источники питания SWS600L достаточно компактны (высота 61 мм, длина 190 мм), поэтому легко устанавливаются в конструктивы с высотой 2U. Таким образом, при монтаже в законченные системы небольшой форм-фактор гарантирует максимальное использование объёма. До пяти блоков могут быть установлены друг на друга без необходимости обеспечения зазора между модулями. Входные отверстия для охлаждающего воздушного потока, расположенные только на передней и задней поверхностях, способствуют этому, позволяя закрывать блоки с боковых сторон. Функция активного распределения выходного тока позволяет подключать несколько модулей к одной нагрузке равномерно, когда они применяются при больших нагрузках, а также в применениях, требующих резервирования.

Серия SWS600L работает от сети переменного тока в диапазоне 85...265 В и отличается широким диапазоном регулирования выходного напряжения, что делает возможным её применение в системах с нестандартными значениями номинальных напряжений. Причём регулировать выходное напряжение в диапазоне ±20% от номинального значения можно при помощи как потенциометра, так и напряжения управления.

Блоки SWS600L отвечают требованиям стандарта IEC61000-4-4 (ГОСТ Р 51317.4.4-99) по устойчивости к воздействию импульсов напряжения, модули испытывались на стойкость к ударным воздействиям согласно стандарта MIL-STD-810F 516.5 Procedure I, VI, а по стойкости к вибрационным воздействиям – MIL-STD-810F 514.5 Category 4, 10.

По кондуктивным электромагнитным помехам SWS600L относятся к оборудованию класса В и отвечают требованиям стандартов электробезопасности EN60950-1, ГОСТ Р МЭК60950-2002, IEC61010-1 и EN50178.

Приобрести источники питания серии SWS600L можно у авторизованного дистрибьютора Lambda в России – компании ПРОСОФТ.

*prosoft.ru*

*Тел. (495) 234-0636*

## Новости российского рынка

### Приборы

#### Измерители СВЧ-мощности ST124SMA, ST185SMA и ST265SMA

Измерители мощности компании Satori Technology (Великобритания) относятся к новым представителям класса рабочих измерителей мощности. Диапазон частот измерителей составляет до 12,4 ГГц (на фото), до 18,5 ГГц и до 26,5 ГГц соответственно. В настоящее время компания ведёт разработки измерителей до 40 ГГц. Применение диодов на барьере Шоттки позволяет обеспечить динамический диапазон от -50 до +20 дБмВт с суммарной погрешностью измерения 5...12% в зависимости от уровня и частоты. Основными особенностями приборов являются следующие: во-первых, измерители не требуют опорного калибратора, во-вторых, измерители не требуют наличия индикаторного блока, в-третьих, прибор отличают малые массогабаритные показатели и небольшая цена (следствие первых двух факторов).



В качестве индицирующего устройства для измерителей мощности Satori используется любой персональный компьютер с интерфейсом USB.

[www.prist.ru](http://www.prist.ru)  
Тел.: (495) 777-5591

#### Частотомеры СВЧ компании PhaseMatrix (США)

Базовая серия частотомеров представлена 3-канальными моделями 25В (на фото) и 28В в малогабаритных корпусах с усиленной защитой, что делает возможным их использование в полевых условиях. Диапазон частот от 10 Гц до 26 ГГц (разрешение 1 Гц). Имеется возможность измерения мощности по 3 каналу в этом же диапазоне с разрешающей способностью 0,1 дБ (одновременно с частотой).

Использование технологии преселекции сигнала позволяет реализовать следующие возможности в частотомерах:

- защита измерительного канала (до 200 Вт пиковой мощности на входе);
- измерение частоты и мощности только выбранного сигнала (без захвата гармоник основного сигнала или помех);



- возможность работы со сложными многокомпонентными сигналами (системы передачи данных с несколькими ЧРК).

Другая серия представлена лабораторными частотомерами 545В и 548В, которые имеют исполнение под 19" стойку. Технические характеристики идентичны моделям младшей серии, за исключением возможности расширения частотного диапазона до 110 ГГц (в модели 548В) за счёт подключения выносных преобразователей.

Функциональные возможности позволяют комплексно использовать частотомеры при экспресс-измерениях параметров СВЧ-оборудования. Частотомеры управляются по интерфейсу КОП/GPIB и могут использоваться в составе измерительных систем.

[www.prist.ru](http://www.prist.ru)  
Тел.: (495) 777-5591

#### Функциональные генераторы DS360

Компания ПриСТ расширяет линейку прецизионных приборов от компании Stanford Research System (SRS, США) и помимо рубидиевого стандарта частоты FS725 представляет функциональный генератор DS360. Этот прибор является примером уникальной комбинации генератора с ультранизкими гармоническими искажениями и шумами (THD < 0,001% в диапазоне до 20 кГц) и технологии прямого цифрового синтеза, обеспечивающей высокую точность и дискретность установки частоты сигнала.

Генератор DS360 является идеальным инструментом для акустических измерений. Наряду с прецизионными метрологическими характеристиками: частотный диапазон 10 мГц...200 кГц, максимальное разрешение 1 мГц, погрешность установки частоты 0,0025%, THD < 0,001%, уровень 20 мкВ<sub>пик</sub>...40 В<sub>пик</sub> (±1%) в генераторе



ре предусмотрены специальные виды выходных сигналов. Помимо синуса и меандра генератор формирует белый и розовый шум, имеется функция свипирования (log или lin), 2-тоновый сигнал. Генератор DS360 имеет различные типы выходных разъёмов, которые обеспечивают совместимость с любой системой: симметричный и несимметричный, BNC и XLR, а также опционально устанавливаемые цифровые выходы.

Широкие возможности по формированию сигналов обеспечиваются насыщенным меню управления, а также поддержкой удалённого управления по интерфейсам RS-232 и КОП.

[www.prist.ru](http://www.prist.ru)  
Тел.: (495) 777-5591

#### Генераторы импульсов Picosecond 4000-й серии

В серии генераторов испытательных импульсов от компании Picosecond Pulse Labs (США) представлены пять моделей: 4005, 4015D, 4016, 4050В (на фото), 4500Е, отличающихся параметрами испытательных импульсов. Амплитуда испытательных импульсов от 5 до 35 В, время нарастания импульсов от 5 пс, выброс на вершине импульса от 2% и неравномерность вершины импульса от 0,1%.



Модель 4050 является прямой заменой отечественному И1-12. В качестве формирователя в генераторе 4050 используется лавинный транзистор, что позволяет получить на порядок большую амплитуду выходного импульса (10 В против 0,5 В) при одинаковом времени нарастания (50 пс). Это открывает широкие возможности по применению генератора 4050 в сфере метрологии, в первую очередь для проверки параметров ПХ широкополосных осциллографов на всех коэффициентах отклонения.

Генераторы испытательных импульсов 4000-й серии компании Picosecond Pulse Lab проходят испытания для целей утверждения типа СИ и могут быть рекомендованы в качестве рабочих эталонов для проверки и калибровки широкополосных осциллографов.

[www.prist.ru](http://www.prist.ru)  
Тел.: (495) 777-5591

# Проблемы применения современной индустриальной электронной компонентной базы иностранного производства в ракетно-космической технике

Николай Данилин, Сергей Белослудцев (Москва)

В статье обоснованы сложившиеся в Российской Федерации тенденции применения в ракетно-космической технике и смежных отраслях промышленности новейших образцов зарубежной электронной компонентной базы (ЭКБ), не имеющих аналогов в своём классе среди компонентов военного назначения. Приводятся рекомендации по выбору элементов для реализуемых проектов с учётом эволюции технологий и производственных процессов на рынке современной электронной компонентной базы.

Преимущества современной индустриальной (промышленной) электронной компонентной базы иностранного производства в ракетно-космической технике становятся всё более очевидными в нашей стране. В последние двадцать лет произошло коренное перераспределение на рынке электронной компонентной базы военного и космического назначения, объём которой оценивается суммой около 1,4 млрд. долл. в год. Доля космоса составляет около 1% этого рынка по сравнению с 3000 млрд. мирового рынка всей ЭКБ.

Большинство производителей ЭКБ не имеют стимулов для участия в военном и аэрокосмическом бизнесе.



Рис. 1. Сокращение жизненного цикла ЭКБ ИП, произведённых по новейшим технологиям

Предполагаемые финансовые прибыли здесь слишком малы, требования к качеству и надёжности слишком высоки.

С развитием космических аппаратов (КА) серии Constellation (Англия), где использовались самые современные технологии и большое число специфических космических требований, преимущества ЭКБ индустриального уровня качества стали более необходимыми и очевидными. Пионерами использования ЭКБ индустриального уровня качества являются КА Iridium и Globalstar (США).

Приоритет применения ЭКБ иностранного производства индустриального уровня качества в подобных российских проектах должен отдаваться стабильным, крупным фирмам-изготовителям космического приборостроения с отлаженной прецизионной технологией производства.

Это подтверждается и тем, что стоимость строительства современного завода по производству микроэлектронных (по сути уже наноэлектронных) схем достигает 2...3 млрд. долл. В отсутствие развитого внутреннего рынка, опытных менеджеров и в существующих условиях раздела мирового рынка экономический эффект даже в случае успешного запуска завода в России и полной государственной поддержки маловероятен.

Но сложность выбора, проектирования, поставки, проведения достоверных испытаний, обеспечения долговременного производства и ремонта РЭА с ЭКБ иностранного производства (ИП) индустриального уровня качества окупается её преимуществами. Время с момента выпуска на рынок ЭКБ ИП, произведённых по новым технологиям, до момента снятия их с производства постоянно сокращается. Это обстоятельство отражается на особенностях проектирования и производства РЭА, ставит задачи по совершенствованию испытательного оборудования и вносит коррективы при планировании долгосрочного производства РЭА.

Развитие ЭКБ ИП меняет представление разработчиков РЭА о составе и структуре изделия, что исключает или минимизирует возможность ускоренного проектирования, когда разрабатываемый объект комплектуется из ранее разработанных узлов. В этой ситуации просто не будет необходимой ЭКБ ИП, а элементы важнейших частей аппаратуры не будут рассчитаны на необходимые режимы и характеристики: иное напряжение питания, повышенные рабочие частоты, что характерно для ускоренной эволюции ЭКБ ИП, происходящей при изменении технологии производства кристаллов ЭКБ. Эту ситуацию иллюстрирует рис. 1, где технологии, расположенные выше, являются более новыми и перспективными по сравнению с расположенными ниже.

Так, например, с увеличением быстродействия микросхемы возникают проблемы задержки сигнала в соединителях блоков и плат. Появление новых типов корпусов приводит к необходимости повторной разработки топологий печатных плат и исполь-

зования иных коммутационных решений, а также изменения технологических процессов.

Развитие ЭКБ ИП продолжается, а вместе с тем изменяется время жизненного цикла: оно сокращается для последующих поколений ЭКБ ИП, как показано в табл. 1. Среднее время выпуска последующих поколений ЭКБ ИП приведено в табл. 2.

На примере модулей памяти видны изменения времени жизненного цикла ЭКБ ИП (рис. 2), в том числе изменение технологических норм объёма памяти, типа памяти, типа корпуса и напряжения питания с момента объявления о выпуске до снятия с производства. На рис. 2 приведены данные за 2000 г., но сейчас они не только не потеряли актуальности, но и полностью подтвердились. По данным Insight Research, активный жизненный цикл каждого поколения микросхем составляет два года.

В табл. 3 представлено описание этапов существования ЭКБ ИП с точки зрения всех участников рынка: фирмы – производителя ЭКБ ИП и конкурирующих производств, выпускающих аналогичные элементы, а также приведены данные, характеризующие производственные процессы при изготовлении элементов.

Как реакцию на происходящие этапы развития и спада производства можно наблюдать изменение во времени стоимости элементов. Развитие производственно-экономического жизненного цикла изделий диктует производителю, из каких элементов в настоящее время выгодно разрабатывать РЭА с максимально возможными функциональными возможностями, а какие элементы необходимо исключить из перечня компонентов, используемых при разработке новых образцов РЭА.

Любое несоответствие рыночным требованиям может поставить под угрозу реализацию технического задания или сделать РЭА неконкурентоспособной. Причиной может явиться увеличение времени производства из-за проблем с поставками устаревших элементов, а следствием – изготовление морально устаревших образцов РЭА, функциональные возможности которых ниже, чем у более оперативных работающих конкурентов.

Группа по контролю за устареванием компонентов Великобритании (U.K. Components Obsolescence Group

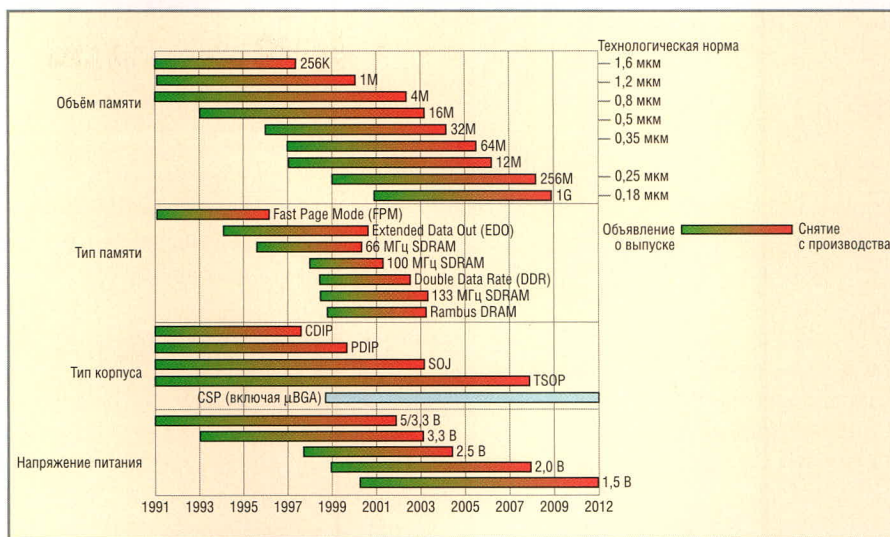


Рис. 2. Изменение времени жизненного цикла, объёма, типа памяти и рабочих частот, типа корпуса и напряжения питания модулей памяти

(COG)) сформулировала зависимость основных этапов жизненного цикла ЭКБ ИП по критерию, учитывающему объём выпуска элементов в единицу времени, от финансовой заинтересованности производителей ЭКБ ИП (см. рис. 3). До момента запуска серийного производства производитель вправе вносить конструктивные и программные изменения в структуру компонентов (см. табл. 3), а потребитель рискует приобрести ЭКБ, выпущенную по предварительным спецификациям.

Существует много аргументов «за» и «против» использования ЭКБ индустриального уровня качества, ряд которых сформулирован в директивах Перри.

### ФОРМУЛИРОВКА ДИРЕКТИВЫ ПЕРРИ

29 июня 1994 года министр обороны США Уильям Перри (William Perry)

выпустил директиву, предписывающую всем видам вооружённых сил при закупке военной продукции и разработке новых систем оружия в обязательном порядке использовать коммерческие технические характеристики, спецификации и стандарты. Отступать от этого правила разрешалось только с санкции министра обороны.

Директива Перри не утверждает, что должны использоваться только изделия, произведённые для коммерческого или промышленного применения. Это неправильное представление, которое возникает у многих потенциальных потребителей ЭКБ коммерческого и индустриального уровня качества. Директива предписывает:

- необходимо использовать технические условия (ТУ), ориентированные на выходные характеристики изделия;
- на партию ЭКБ надо распространить предельные характеристики,

Таблица 1. Среднее время жизненного цикла ЭКБ ИП

| Категории ЭКБ                                   | Период полного устаревания ЭКБ ИП, лет |
|---|--|
| ЭКБ ИП военного и космического уровня* качества | >12,5                                  |
| ЭКБ ИП индустриального уровня качества**        | <8,5                                   |
| Всего: все уровни качества                      | ~10                                    |

\* Изначально устаревшие

\*\* Последние разработки

Таблица 2. Среднее время жизненного цикла ЭКБ ИП индустриального уровня качества

| Вид ЭКБ                                | Период полного устаревания ЭКБ ИП |
|--|-----------------------------------|
| Семейства памяти                       | <9 месяцев                        |
| Программируемые логические устройства  | >1 год                            |
| Микропроцессоры, вентиляционные ячейки | <2 года                           |
| Цифровые сигнальные процессоры         | ~3 года                           |
| Семейства логических элементов         | ~6 лет                            |



**Рис. 3. Этапы жизненного цикла ЭКБ ИП, характеризующиеся объёмом выпуска, с приведением кривой заинтересованности производителя ЭКБ ИП**



**Рис. 4. Распределение ЭКБ по секторам рынка**

достигнутые для коммерческих и промышленных изделий;

- в первую очередь использовать промышленные ТУ и стандарты;
- использовать военные ТУ и стандарты в тех случаях, когда нет промышленных.

В качестве промышленных подходов применения ЭКБ индустриального уровня качества использовались методы отбраковки (JANTXV), контроля и ограниченной отбраковки (JANS).

### ПРЕИМУЩЕСТВА ЭКБ ИНДУСТРИАЛЬНОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА

Существенным фактором является доступность приобретения в кратчайшие сроки ЭКБ индустриального уровня качества для различных целей, соответствующих требованиям стандартов производителя, т.е. полностью готовых изделий по минимальным ценам. Стандарты производителя могут означать продукцию со стандартными характеристиками и отбраковку поступивших элементов по требованиям военной приёмки.

Подход к ЭКБ индустриального уровня качества разработан на основе принятия стандартных ЭКБ массового производителя. В этом случае реализуются преимущества крупносерийного производства и, что более существенно, нет необходимости в линиях специального производства, наличие которых было основным требованием для производства традиционных ЭКБ военного и космического назначения. Программа поставки ЭКБ индустриального уровня качества может выявить и устранить потенциальные аномалии посредством целевого отбора на основании выборки из партии. За счёт этого исключаются большие затраты, необходимые для проведения полной отбраковки или квалификационных процедур, а также связанные с ними потери времени. Целевой отбор предусматривает:

- наличие результатов испытаний на воздействие внешних воздействую-

ющих факторов (ВВФ) и разрушающего физического анализа (РФА);

- наличие информации о производителе;
- информационную поддержку партнёров по ЭКБ, такую как IGG (Портсмут, Англия), Technologica (Севиля, Испания);
- знание условий применения, заложенных на этапе проектирования;
- тесный контакт разработчиков аппаратуры и специалистов по ЭКБ, понимающих требования друг друга.

Например, приобретённые на бирже или у производителей компоненты JANTXV, эквивалентные компонентам военного стандарта 883В или компонентам по стандарту уровня качества производителя, являются компонентами индустриального уровня качества.

Многие потребители использовали ЭКБ индустриального уровня качества в течение длительного времени. Во многих космических программах уже применялись индустриальные изделия с ограниченной отбраковкой, с тем чтобы достичь высокого уровня качества при минимальных ценах и сроках поставки по сравнению с традиционным подходом JANS/Class S.

Преимущества ЭКБ индустриального уровня качества приводят к сокращению рынка ЭКБ военного и космического назначения, что следует из объективного распределения по секторам рынка (рис. 4) [6]. Военно-космический рынок в 2000 г. составил менее 1%. Общий объём мирового рын-

**Таблица 3. Этапы существования ЭКБ ИП для сегментов производственно-экономического жизненного цикла**

| Сегменты                         | Объявление о выпуске | Увеличение производства | Производство            | Насыщение       | Снижение производства        | Снятие с производства        |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| Продажи                          | Медленно возрастают  | Стремительно возрастают | Стабильные              | Спад            | Уменьшение                   | Единичные и по договору      |
| Цена                             | Наивысшая            | Снижение цены           | Стабильная              | Стабильная      | Резкое повышение             | Высокая                      |
| Применение                       | Низкое               | Возрастающее            | Стабильно               | Стабильно       | Снижающееся                  | Единичное                    |
| Изменение компонента             | Частое               | Постоянное              | Периодические изменения | Незначительное  | Незначительное или нет       | Нет                          |
| Конкуренция                      | Незначительная       | Высокая                 | Стабильно высокая       | Начало снижения | Уменьшение                   | Уменьшение                   |
| Заинтересованность производителя | Низкая               | Возрастающая            | Стабильная              | Стабильная      | Согласованная с потребителем | Согласованная с потребителем |

**Таблица 4. Стоимость и сроки поставки ЭКБ различного уровня качества**

| Характеристики   | ЭКБ индустриального уровня качества            | ЭКБ военного уровня качества                                     | ЭКБ космического уровня качества                    |
|--|--|--|---|
| Стоимость ЭКБ  | Низкая   | Средняя  | Максимальная  |
| Затраты на оборудование рабочего места контроля ЭКБ                |  | Средние  | Малые   |
| Затраты по испытаниям на радиационную стойкость                    | Средние (необходимы испытания)                 | Средние (выборочные испытания)                                   | Малые   |
| Затраты на подготовку технических условий (ТУ)                     | Большие (большой объём ТУ, минимум информации) | Средние (информационно-технические материалы, краткий аналог ТУ) | Малые (ТУ поставляется с ЭКБ, но необходим перевод) |
| Затраты на подготовку разрешительной сопроводительной документации | Большие  | Средние  | Малые   |
| Вероятность приобретения современной ЭКБ                           | Высокая  | Средняя  | Низкая  |
| Вероятность поставки в требуемые сроки, %                          | 95 (поставки со склада)                        | 40   | 0...5 (эмбарго)                                     |

ка в 2000 г. достигал 250 млрд. долл. Совокупный военный и космический рынок составлял 1,4 млрд. долл. Сравнительная оценка стоимости и сроков поставки ЭКБ индустриального, военного и космического уровней качества представлена в таблице 4.

Преимущества ЭКБ индустриального уровня качества:

- экономия по весу до 60%;
- экономия по объёму до 70%;
- большой выбор изделий. На каждый тип ЭКБ, включенный в перечень MIL QML, имеется до 100 промышленных аналогов;
- быстрое внедрение технологий, новизна разработки;
- многие изделия, имеющиеся в перечнях стандартных промышленных типов ЭКБ, в перечне MIL QML отсутствуют.

На рис. 5 приведены функционально аналогичные компоненты коммерческого и военного назначения. Компонент 74АС в пластмассовом корпусе стоит 76 центов, и возможна поставка со склада. Компонент NSC 54АС в керамическом корпусе MIL-M-38510 Class S стоит 132 долл. со сроком поставки 32 недели.

Все изделия, относящиеся по своим параметрам к новым разработкам, обычно предлагаются потребителю как стандартные коммерческие изделия. Обычно надо 6...12 месяцев, чтобы провести квалификацию этих изделий по военному стандарту.

Для того чтобы спроектировать наиболее эффективное и производительное оборудование, пользователи зачастую выбирают устройства самых новых разработок. Такие изделия иногда имеются только на коммерческом рынке.

### ПРОБЛЕМЫ ЭКБ ИНДУСТРИАЛЬНОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА

Применение компонентов индустриального уровня качества вместе с тем связано с определёнными проблемами:

- большие разбросы по показателям качества и надёжности. Очень ограниченные возможности по наглядности показателей качества. Отсутствие информации по показателям надёжности. Отсутствует жёсткий контроль сборки и качества партии. Для изделия одного изготовителя

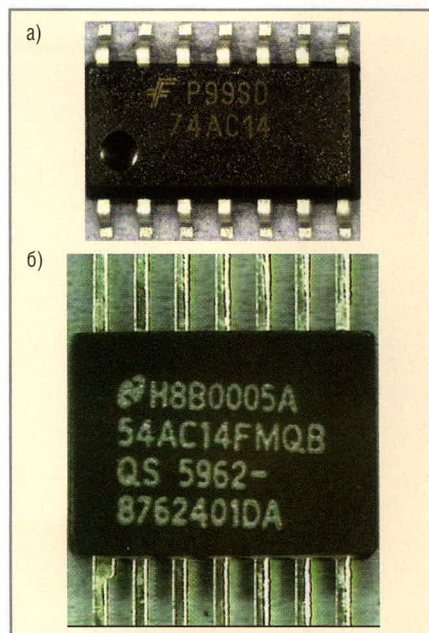


Рис. 5. Габариты коммерческого изделия (а) и изделия военного назначения (б)

сборочные единицы могут поступать из разных стран, а литьё не только из разных плавок, но и из разных литейных цехов. Данных о надёжности для ЭКБ индустриального уровня качества не существует, и их надо собирать и получать на проектной ос-

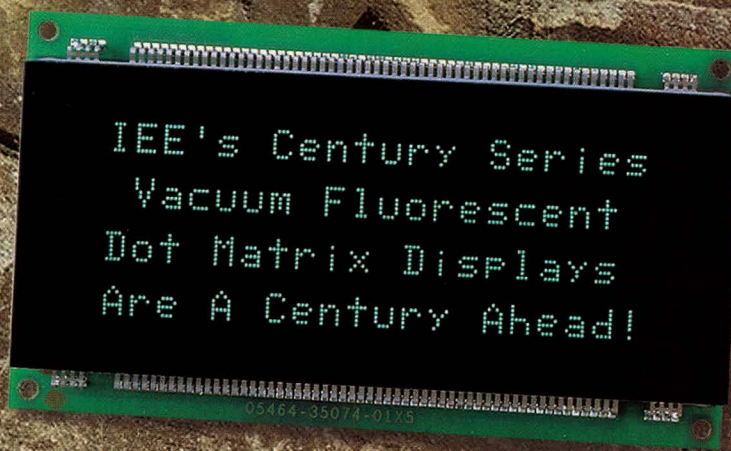
# АЛФАВИТНО-ЦИФРОВЫЕ ДИСПЛЕИ

**Поддержка кириллицы**

**Встроенные контроллеры с последовательным и параллельным интерфейсом**

**Символы высотой 5, 9 мм**

**Температурный диапазон -40...+85°C**



Официальный дистрибьютор компании IEE в России и странах СНГ - компания ПРОСОФТ

**PROSOFT®**

**ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

МОСКВА

Тел.: (095) 234-0636 • Факс: (095) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

Реклама

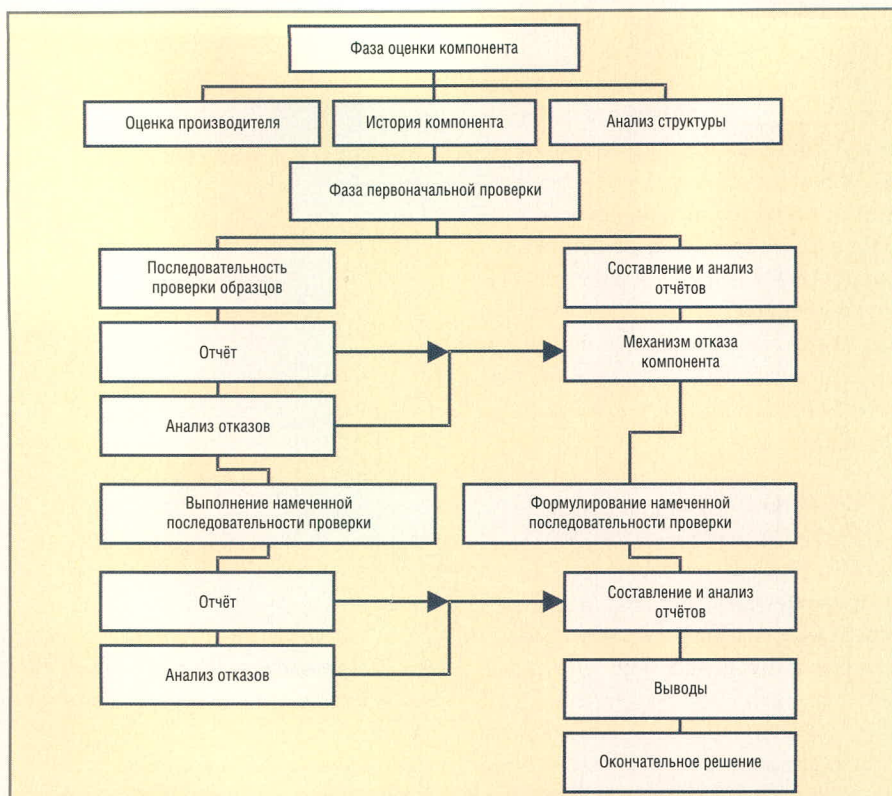


Рис. 6. Алгоритм выбора перспективных для применения в космической аппаратуре компонентов индустриального качества (разработан совместно с IGG)

нове. Отказы изделия могут не иметь отношения к любому другому изделию из той же поставки;

- для ЭКБ индустриального уровня качества необходимо проводить радиационные испытания. Однако полученные данные могут не отражать действительные характеристики партии;
- негерметичные корпуса, газовыделение. Термином РЕМ обозначаются микросхемы, капсулированные в пластике. Обычно РЕМ имеют негерметичный корпус, и проблема газовыделения должна быть принята во внимание;
- короткий жизненный цикл. Срок до снятия с производства ЭКБ индустриального уровня качества может составлять 6 месяцев.

### Выводы по выбору ЭКБ индустриального уровня качества

Проводя оценку ЭКБ индустриального уровня качества, в которую входит некоторая целевая отбраковка, может быть сделана детальная аттестация изделий ЭКБ индустриального уровня качества, дающая полную уверенность в них. Для них существуют накопленные результаты испытаний. Рекомендуется применять однородные партии ЭКБ.

Почти каждое изделие имеет накопленные данные по испытаниям, в которых установлены повторяемость и надёжность. Сюда входят изделия MIL-B, Class M и 883.

Промышленные изделия в пластиковых и керамических корпусах могут быть включены во вновь разрабатываемую аппаратуру, но следует позаботиться об обеспечении повторяемости производства и однородности партии.

Некоторые зоны в космическом аппарате могут обеспечивать наибольшую защиту от радиации. При выборе мест приборов на борту космического аппарата надо руководствоваться соображениями обеспечения наилучшей защиты приборов, имеющих в своём составе чувствительные к радиации компоненты (память, процессоры) Такие приборы устанавливают в «тени» за более радиационно-стойкими приборами, чтобы не увеличивать толщину металлических защитных экранов.

Для увеличения надёжности обычно используется двойное или тройное ненагруженное резервирование.

Испытания подсистем на термоциклирование или на включение при повышенной температуре увеличивают вероятность обнаружения ранних отказов.

Для повышения надёжности вводятся излишняя избыточность систе-

мы (увеличивается фактор безопасности), что снижает весовые и габаритные преимущества ЭКБ индустриального уровня качества. Чтобы достичь уверенности в безотказности космических систем, на уровне подсистем проводятся дополнительные испытания с имитацией эксплуатационных условий для выявления ранних отказов (рис. 6).

Должны быть проверены и подтверждены такие факторы, как объём производства, стабильность рынка, оценка радиационной стойкости и данные по надёжности.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Индустриальные компоненты успешно применяются в космической отрасли. Стоимость применения индустриальных компонентов играет роль в экономии общих затрат на проект. В некоторых случаях применение современной индустриальной (промышленной) электронной компонентной базы иностранного производства может дать единственное решение таких проблем, как вес и функциональные возможности.

К применению индустриальных компонентов следует подходить осторожно, поскольку вероятны устаревание и изменения конструкции без уведомления. Индустриальные компоненты требуют контроля каждой партии, особенно по характеристикам радиационной стойкости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Урличич Ю.М., Данилин Н.С. Проблемы качества и долговечности современного космического приборостроения. М.: МАКС Пресс, 2003.
2. Урличич Ю.М., Данилин Н.С. Управление качеством космической радиоэлектронной аппаратуры в условиях глобальной открытой экономики. М.: МАКС Пресс, 2003.
3. Урличич Ю.М., Данилин Н.С., Белослудцев С.А. Многоплановые инженерно-физические исследования электронной компонентной базы для космоса. М.: МАКС Пресс, 2005.
4. Данилин Н.С., Белослудцев С.А. Отбраковка современной космической электронной компонентной базы. М.: МАКС Пресс, 2006.
5. Доклад на научно-технической конференции «Электронная база космических систем». сн. «Знание» г. Адлер, 27.09.05.
6. Bowers C. Working shop meet. Commercialization of Military and Space Electronics. Nice, France, 1998.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Увеличение спроса на ЖК-панели средних размеров во II квартале

Согласно данным пресс-служб компаний – изготовителей ЖК-панелей, а именно, разработчиков AU Optronics (AUO), Chunghwa Picture Tubes (CPT) и HannStar Display, в скором времени ИТ-гиганты сфокусируются на увеличении объемов выпуска панелей среднего размера ввиду интенсивного роста спроса на данную продукцию.

К примеру, маркетологи компании CPT в июле зафиксировали рост поставок панелей среднего размера на 12,2%, а это более 5,6 млн. единиц. Руководство предприятия планирует в ближайшем будущем акцентировать внимание на выпуске панелей именно этой категории, более того, аналитики пророчат хорошие продажи панелей среднего размера аж до конца 2007 г., т.е. времени ещё достаточно.

В то же время компания AUO стала свидетелем небольшого спада продаж панелей малого и среднего размера в прошлом месяце – на 2,5%. В конце июля представители AUO отметили, что на заводах 5-го поколения, занимающихся производством панелей для ноутбуков и ЖК-мониторов, выпуск панелей среднего размера пришлось заметно сократить.

*digitimes.com*

### Sony не спешит с ЖК-панелями 10G

Компания Sony на данный момент не имеет каких-либо конкретных планов относительно освоения производства ЖК-панелей десятого поколения (10G). Это при том, что Sony является одним из брендов первого эшелона на рынке производителей ЖК-телевизоров. Другие бренды первого эшелона – Sharp и Samsung – уже заявили о своих планах по освоению производства ЖК-панелей десятого поколения.

Линии по производству ЖК-панелей десятого поколения позволили бы компании производить больше 50" и 60" ЖК-панелей. Нежелание компании Sony инвестировать в монтаж такой линии, возможно, обусловлено тем, что пока не вырисовываются чёткие перспективы на рынке ЖК-телевизоров. Хотя уже сейчас большинство производителей сфокусировали свои мощности на производстве ЖК-панелей с диагональю 40" и велика вероятность того, что ещё более крупные ЖК-панели будут становиться всё более популярными.

Между прочим, такая разница в под-

ходе к производству ЖК-панелей нового поколения среди лидеров рынка может сыграть на руку тайваньским производителям. Тайваньские производители ЖК-панелей впервые обойдут своих корейских оппонентов, если смогут наладить поставки ЖК-панелей с полным спектром диагоналей для Sony.

*digitimes.com*

### Цены на плазменные телевизоры снизятся в 2011 г.

Изготовители плазменных панелей столкнулись с жёсткой конкуренцией со стороны производителей ЖК-экранов. Предполагается, что доход от продаж плазменных экранов начнёт снижаться с 2009 г. В этом году общий доход от продажи панелей плазменных экранов поднимется до \$8,6 млрд., что на 12% больше, чем в 2006, и достигнет пика в 2008 г. – \$10,2 млрд., – сообщила корпорация iSuppli.

Несмотря на рост отгрузок, к 2011 г. производители будут вынуждены срезать цены на плазменные экраны из-за конкуренции с ЖК и другими технологиями. В связи с этим годовой доход уменьшится до \$8,7 млрд.

После проигранного ценового соперничества с производителями ЖК-экранов на рынке 40-дюймовых телевизоров, изготовители плазменных экранов надеются повернуть в свою сторону предпочтения потребителей на рынке 50-дюймовых панелей.

*reuters.com*

### Sharp инвестирует 3,2 млрд. долл. в строительство завода ЖК-телевизоров

Корпорация Sharp, инвестирует 380 млрд. йен (около 3,2 млрд. долл.) в строительство нового завода по изготовлению ЖК-телевизоров, который будет производить десятое поколение стеклянных пластин, достигающих в длину 3 м. Размер ЖК-экрана десятого поколения составит 2850 × 3050 мм, из него получатся пятнадцать 40", восемь 50" или четыре 60" панели.

«К 2011 г. рынок телевизоров с плоскими экранами вырастет до 120 млн. единиц, 90% этого рынка займёт продукция на основе ЖК-технологии. В это время телевизор с плоским экраном будет означать – ЖК-телевизор», – заявил президент компании Sharp Микио Катаяма (Mikio Katayama).

Компания Sharp собирается построить завод по изготовлению ЖК-телевизоров в Сакаи, что расположен рядом с Осака. В этом же месте Sharp планирует разместить завод по изготовлению солнечных элементов для использования тонкопленочной технологии и материалов для своих продуктов. Оба завода Sharp планирует открыть в марте 2010.

Разработкой нового промышленного комплекса заинтересовался ведущий поставщик стеклянных пластин, Dai Nippon Printing, ведущий поставщик цветных фильтров и Kansai Electric Power group. Они приняли решение о включении своих заводов в комплекс Sharp. По словам делегата Sharp, есть ещё несколько компаний, которые рассматривают возможность присоединения к этому производственному проекту. Предположительно, общая сумма инвестиций достигнет 1 трлн. йен (примерно 8,4 млрд. долл.).

Планируется, что поначалу завод будет работать с 50-% мощностью. По предварительным подсчётам, максимальная производительность завода составит 72 000 стеклянных пластин в месяц.

*eetimes.com*

### Результаты Toshiba во II квартале: цены на память стабилизируются

На днях финансисты компании Toshiba, второго по величине производителя чипов памяти в мире, представили общественности результаты деятельности в прошлом отчётном периоде. Как ни странно, в этом квартале Toshiba зафиксировала рост операционной прибыли на уровне 1,6% от продаж ноутбуков и чипов памяти.

Как известно, успешность деятельности Toshiba и её главного конкурента, компании Samsung Electronics, на рынке памяти зависит от стабильности цен и спроса на выпускаемую продукцию, которая поставляется изготовителям плееров, игровых консолей, смартфонов (Apple, Nokia и Sony). Многие аналитики пророчат Toshiba в этом году неплохие заработки, а именно около 2,2 млрд. долл. операционной прибыли.

Нужно отметить, что в последние несколько месяцев рынок флэш-памяти начал понемногу стабилизироваться, что положительно сказалось на темпе снижения цен на продукцию Toshiba. Однако эксперты прогнозируют серьезные скачки в этом сегменте, что может сбить цену на модули памяти буквально вдвое.

*eetimes.com*

# Проекционные дисплейные технологии, представленные на SID`07

Александр Самарин (Москва)

SID International Symposium, Seminar & Exhibition – ежегодная традиционная выставка и конференция, организуемая Обществом информационных дисплеев (The Society for Information Display) для демонстрации самых последних достижений в области технологий отображения информации. Симпозиум и выставка SID`07 проводилась с 20 по 25 мая 2007 г. в Long Beach Convention Center, штат Калифорния. Статья знакомит с некоторыми новинками проекционных технологий, представленных на этом мероприятии.

За последние годы проекционные технологии продолжали бурно развиваться и сегодня используются в различных отраслях деятельности человека. Проекционные телевизоры и настольные проекторы достигли к настоящему моменту коммерческого «уровня зрелости». Проекционная техника всё шире применяется в сфере управления и контроля, образования и культуры, в производстве и в быту.

Развитие проекционных технологий идёт по двум направлениям. С одной стороны, продолжают совершенствоваться традиционные виды проекционного оборудования, разрабатываются новые эффективные источники света и световые модуляторы, улучшаются их качественные параметры, уменьшается цена, увеличивается надёжность и долговечность. С другой стороны, происходит проникновение проекционной техники в новые приложения, например, мобильные устройства, авиасимуляторы и тренажёры. Далее речь пойдёт именно об этих приложениях.

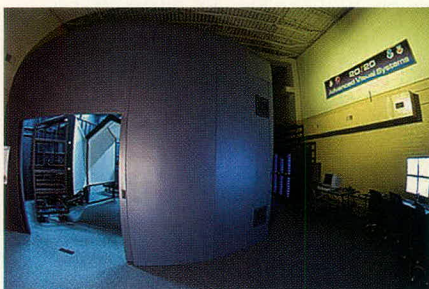


Рис. 1. Зал, в котором установлена проекционная система авиатренажёра 20/20 для военно-воздушных сил США

## ЧТО ТАКОЕ MICRO-ELECTRO-MECHANICAL SYSTEMS (MEMS)

Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) – интегрированное устройство, созданное по полупроводниковой технологии и включающее механические элементы, датчики, актуаторы (механические приводы) и управляющую электронику, расположенные на единой кремниевой подложке. Электроника такого устройства формируется при использовании стандартных технологических процессов, применяемых для производства микросхем. Получение микромеханических компонентов требует использования процессов селективного травления кремниевой подложки, которые проводятся последовательно по нескольким структурным слоям подложки. Таким образом, формируются объёмные механические компоненты заданной формы и с заданными свойствами. В качестве материалов для механических узлов могут применяться металлические, диэлектрические и полупроводниковые плёнки.

## ДВАДЦАТИМЕГАПКСЕЛЬНЫЙ MEMS-ЛАЗЕРНЫЙ ПРОЕКТОР

Дисплейные системы сверхвысокого разрешения используются в авиатренажёрах, центрах управления и оперативного планирования, а также в планетариях. В качестве одного из примеров практического применения дисплейной проекционной системы сверхвысокого разрешения

можно привести проектор, который создан для авиатренажёра, установленного в центре подготовки военных пилотов США в городе Меза штата Аризона (см. рис. 1).

Основные характеристики проекционной системы показаны в таблице.

Проекционная система состоит из трёх источников света (лазеров RGB), фокусирующей оптики, решетчатого модулятора и системы механической развёртки по кадру. Сфокусированный и сформированный луч падает на узкую полосу микромодуляторов. В качестве MEMS-модулятора используется решетчатый световой затвор (Grating Light Valve – GLV). В отличие от модуляторов света с управляемыми зеркалами (Digital Micromirror Device – DMD), это не двумерный, а одномерный (линейный) модулятор. Число элементов в строке составляет 4096. Каждый элемент из массива модуляторов может иметь всего два состояния: свет или полностью отражается зеркальной поверхностью (состояние off) или полностью поглощается вследствие интерференции (состояние on). Принцип работы модулятора показан на рис. 2.

Данный тип MEMS-модулятора был впервые продемонстрирован в Стэнфордском университете в 1992 г. Цветное изображение формируется посредством поочередной модуляции во времени трёх цветных лучей RGB. Конструкция такого линейного модулятора намного проще, чем конструкция двумерного, а цена значительно меньше. Технология GLV была разрабо-

### Основные характеристики проекционной системы

| Параметр                          | Характеристика                |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Разрешение                        | 4096 × 5120 пикселей          |
| Общее число элементов изображения | 20 975 120 пикселей           |
| Тип MEMS-модулятора               | GLM-линейка на 4096 элементов |
| Источники                         | RGB-лазеры                    |
| Мощность лазеров                  | По 10 Вт                      |

тана профессором Дэвидом Блумом (David Bloom) из Станфордского университета, а затем лицензирована фирмой Sony. В настоящее время устройства данного типа серийно производятся фирмой Silicon Light Machines в городке Саннивал (Sunnyvale), штат Калифорния. Модулятор используется в ряде серийных моделей проекционных телевизоров и проекторов, а также в специализированной аппаратуре для модуляции лазерных лучей. Модулятор состоит из ряда параллельных микрополосок, сформированных в виде мостиков. Период решётки составляет 3,7 мкм, длина пиксела – 7,4 мкм. Полоски дифракционной решётки вытравлены из плёнки нитрида кремния толщиной 100 нм и покрыты сверху плёнкой алюминия толщиной 30 нм. Длина полосок решётки составляет 200 мкм. Полоски образуют микроконденсаторную структуру. Общий электрод расположен на подложке под мостиками-полосками. К каждой полоске подходит свой сигнал управления. Если прикладывать электрический потенциал к полоске, то под действием электростатических сил она будет деформироваться и прогибаться. Когда полоска притянута в нижнее положение, падающий свет рассеивается и его прохождение блокируется в проекционной системе.

Каждый пиксел может изменять свое состояние за 100 нс. В представленном MEMS-модуляторе используется линейный массив из 4096 пикселов. С помощью развёртки формируется изображение форматом 4096 × 5120 пикселов. Кадр изображения, таким образом, занимает во времени 5120 × 0,1 мкс = 512 мкс. Частота кадровой развёртки – 2 кГц. Модулятор имеет бинарные состояния, поэтому формирование градаций серого возможно только за счёт использования ШИМ. Пример изображения, проецируемого 20-мегапиксельной дисплейной системой, показан на рис. 3.

Главное достоинство технологии GLV заключается в том, что кристалл-модулятор GLV обеспечивает достаточно высокое разрешение при низкой себестоимости. Например, формирование изображения форматом 4096 × 5120 пикселов может быть получено посредством сканирования 4096-пиксельной линейки GLV-кристалла. Если использовать технологию DMD, то в его кристалле будет задействовано

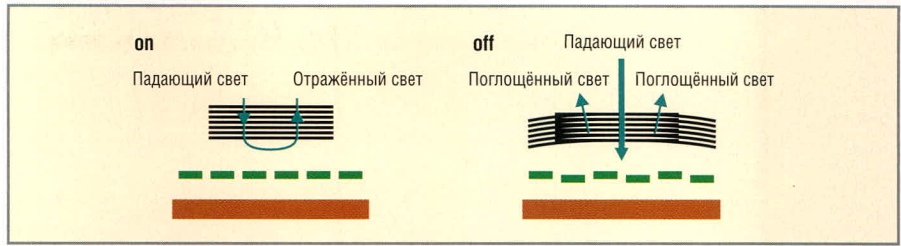


Рис. 2. Принцип работы решетчатого светового модулятора (GLM)

свыше 20 млн. элементов микрзеркальных модуляторов. Другое достоинство технологии GLV – высокая, фактически без зазоров, плотность расположения элементов модуляции. Это обеспечивает высокий коэффициент модуляции. Микрофотография GLM-структуры показана на рис. 4.

Конструктивно блок модулятора выполнен по гибридной технологии. На базовой подложке смонтированы кристалл с массивом решетчатого светового фильтра и восемь кристаллов схемы управления, а также сформированы проводники межсоединений. Каждый из кристаллов управляет своим сектором модулятора, состоящим из 512 ёмкостных элементов. Гибридная схема модулятора монтируется далее на печатной плате, на которой размещаются интерфейсные схемы для связи с источником видеосигналов. Мультикристалльная сборка GLM-модуля показана на рис. 5.

Полоска по центру – массив решетчатого дифракционного модулятора на 4096 элементов. Восемь прямоугольников зелёного цвета – кристаллы управления секциями модулятора. Каждый из кристаллов монтируется по технологии flip-chip на базовой подложке. Число контактных площадок составляет 576.

### ЭЛЕКТРОНИКА ПРОЕКТОРА

Нетрудно посчитать, что при синтезе цветного изображения с разрешением 4096 × 5120 пикселов с градациями по яркости для передачи сигналов требуется скорость цифрового потока 24 Гбит/с. Стандартного оборудования для решения этой задачи не существует. В проекторе использовалось два электронных узла: блок модулятора с интерфейсами и стойка с процессорами для синтеза видеосигналов управления модулятором. На рис. 6 показан общий вид модуля модулятора, смонтированного на печатной плате с видеоинтерфейсами.

Поле изображения было разделено на 16 логических фрагментов, для



Рис. 3. Пример изображения, проецируемого 20-мегапиксельной дисплейной системой

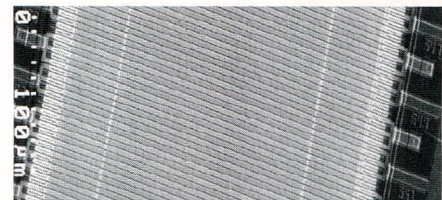


Рис. 4. Микрофотография GLM-структуры

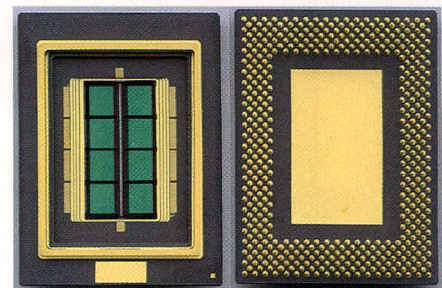


Рис. 5. Мультикристалльная сборка GLM-модуля

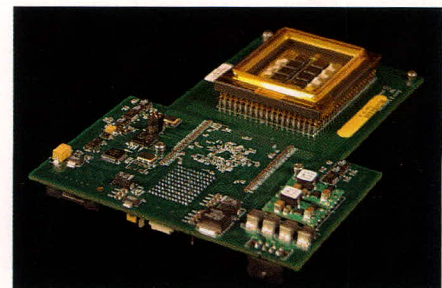


Рис. 6. Модуль MEMS-модулятора со схемой управления



Рис. 7. Стойка с 16 процессорными блоками для управления проектором

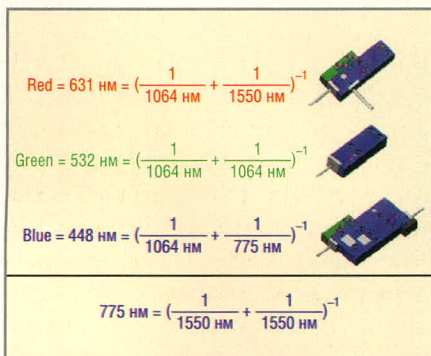


Рис. 8. Схемы спектральных конверсий для получения основных RGB-источников света

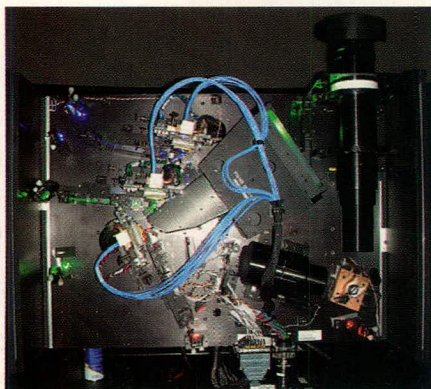


Рис. 9. Проектор, внутренний вид



Рис. 10. Модуль «красного» лазера

каждого из которых выделен отдельный графический процессор, формирующий данный фрагмент изображения. Стойка с 16 процессорными блоками для управления проектором показана на рис. 7.

Выходной интерфейс каждого процессорного блока – DVI.

**Источники света**

В проекционной системе задействованы три мощных 10-ваттных лазера красного, зелёного и синего цветов. Для синтеза излучений с нужными спектральными характеристиками используется нелинейная конверсия спектров. В качестве источников накачки применяются лазеры, излучающие в инфракрасном диапазоне с длиной волны 1064 и 1550 нм. Только они способны обеспечить нужную световую мощность и высокую эффективность преобразования энергии. Для получения красного излучения с длиной волны 631 нм использовалось «сумма» излучений обоих лазеров 1064 и 1550 нм. Зелёный цвет был получен удвоением частоты излучения с длиной волны 1064 нм, а синий цвет – суммированием излучения 1064 нм и удвоенной частоты излучения с длиной волны 1550 нм. Схемы преобразований спектров показаны на рис. 8, а внутренний вид проектора – на рис. 9. В качестве компонентов конвертеров-удвоителей использовались ниодимовые и эрбиевые оптоволокна.

**Модуль лазерного RGB-излучателя OSRAM для проекторов мобильных устройств**

Современные мобильные PDA-устройства (Pocket Digital Assistant), такие как сотовые телефоны, iPod, смартфоны и т.д., нуждаются в расширении возможностей дисплейной системы при воспроизведении видеоизображений высокого разрешения, так как размер изображения на экране ограничен размерами самого устройства.

Одним из способов увеличения размера изображения и повышения удобства его восприятия может быть использование так называемых микропроекторов. Однако только недавнее развитие элементной базы позволило вплотную подойти к их серийному производству.

Микропроекторы относятся к проекционным устройствам с передней

проекцией, т.е. проецируемое изображение и глаза наблюдателя находятся с одной стороны экрана, в качестве которого может использоваться любая поверхность с диффузным отражением: поверхность стола, стена помещения, корпус устройства и т.д. Размер формируемого микропроекторами изображения из-за ограниченных энергоресурсов значительно меньше, чем у стационарных проекторов, и составляет обычно 10...15 дюймов. Яркость экрана – 15...20 лм. Для сравнения: яркость изображения на экране ЭЛТ – 200...500 лм.

Любой дисплейный проектор состоит из следующих функциональных блоков:

- одного или нескольких источников света;
- фокусирующей оптики;
- оптических модуляторов;
- пространственных модуляторов (формирователей раstra);
- блока управления с видеинтерфейсом.

Особенность микропроектора – автономное питание. При этом микропроекторы могут выполняться как в отдельном корпусе, так и в виде модулей, встраиваемых в основное устройство.

Источники света являются одним из важнейших узлов встроенных проекторов. С одной стороны, это должны быть мощные источники фиксированной длины волны (для RGB-компонент), а с другой, что немаловажно, такие источники должны обеспечивать возможность модуляции яркости. Для красной компоненты с длиной волны 658 нм в настоящее время существуют довольно мощные и недорогие полупроводниковые InGaAlP-лазеры. В частности, для DVD-проигрывателей используются такие лазеры с мощностью до 250 мВт. Это очень большая мощность для лазера подобного типа. Такой лазер даёт возможность прямой модуляции луча по яркости без всяких проблем. Недавние разработки фирмы OSRAM в этой области позволили уменьшить длину волны красного луча до 640 нм и увеличить одновременно световую отдачу почти в два раза. На рис. 10 показана конструкция миниатюрного лазерного источника света для портативных проекторов, разработанная фирмой OSRAM.

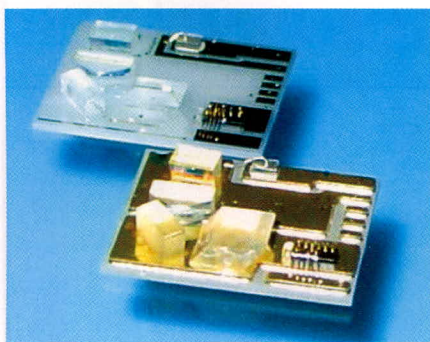


Рис. 11. Оптические компоненты лазерного модуля «зелёного»

В настоящее время пока не удалось получить твердотельный лазер, излучающий зелёный свет и позволяющий осуществлять прямую модуляцию по яркости. Поэтому во всех современных твердотельных источниках «зелёного» используется схема с нелинейной конверсией (удвоением частоты) инфракрасного излучения (Optically Pumped Semiconductor – OPS). OPS-лазер позволяет достичь мощностей в несколько ватт. Сам лазер состоит из инфракрасного лазера накачки, оптики для накачки, полупроводникового кристалла для усиления излучения и резонатора для умножения частоты. Несмотря на сложность, вся конструкция лазерного «зелёного» модуля может быть очень компактной. На рис. 11 показан миниатюрный модуль OPS-источника «зелёного» света OSRAM, разработанный для портативных проекторов.

Весь блок оптики канала «зелёного» разместился на площади всего 1 см<sup>2</sup>. Выходная мощность зелёного лазера для мобильного проектора составляет 20...50 мВт. Фирма OSRAM не остановилась на достигнутом и спроектировала полностью интегрированный модуль «под ключ», который содержит красный, синий и зелёный (OPS) лазер, а также каллиметорную оптику для фокусировки луча. На рис. 12 показан прототип модуля лазерных RGB-источников для микропроекторов.

Фирма OSRAM проводит также разработку компактных и эффективных источников света для проекторов, в которых в качестве пространственного модулятора используется микродисплей. В отличие от варианта с механической развёрткой, в микродисплеях не требуется формирования узкого луча. Однако здесь есть и свои тонкости. Например, для повышения эффективности использования исходного светового потока пе-

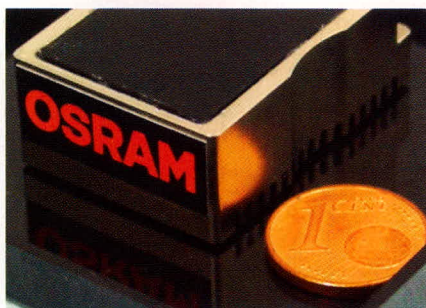


Рис. 12. Прототип лазерного модуля OSRAM для проекторов с механической развёрткой изображения

ред его подачи в плоскость микродисплея можно обеспечить поляризацию без потери энергии. Для этого применяются оптические элементы – световые стержни-интеграторы, которые обладают селективными свойствами по отношению к типу поляризации светового потока.

Фирма OSRAM разработала для данного приложения несколько типов твердотельных источников. Твердотельные лазеры имеют эффективность излучения 10...20%. На настоящий момент уже существуют модули «зелёного» с выходной мощностью 50...100 мВт и модули «красного» с выходной мощностью 150...300 мВт. Источники синего света пока находятся на стадии разработки. Данная линейка источников света OSRAM предназначена для режима с последовательной кадровой цветовой развёрткой. На рис. 13 показана конструкция модуля для проекторов с матричными

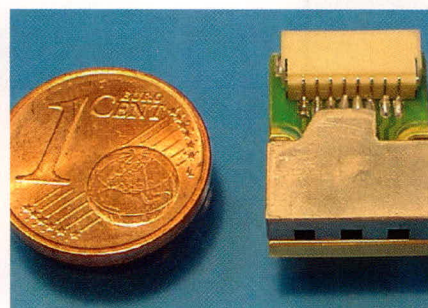


Рис. 13. Лазерный RGB-модуль в качестве источника света для микродисплейной проекционной системы

ми пространственными модуляторами (LCOS, DMD).

### ВСТРОЕННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ MEMS-ПРОЕКТОР С ОПТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Разработанной в лаборатории дрезденского института фотоэлектронных микросистем Fraunhofer IPMS (Fraunhofer Institute for Photonic Microsystems) лазерный проектор предназначен для встраивания в мобильные устройства. Основа проектора – мощный полупроводниковый лазер и двумерный сканер. Проектор имеет две ключевые особенности. Первой особенностью является двумерный MEMS-сканер, имеющий полностью электростатическую систему управления. В аналогичных MEMS-сканерах фирм Symbol Technologies или Macrovision по одной из осей модулятора применяется элект-

**ФИЛЬТРЫ ВОЗДУШНЫЕ ДЛЯ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ЛЮБЫХ ТРЕБОВАНИЙ ЧИСТОТЫ**

**Фильтры классов G3-H17  
ГОСТ Р 51251-99 (EN 779 и EN 1822)**

**Фильтрующие камеры (СКФ и ССФ) для размещения карманных и складчатых фильтров**

**Модули (МВ) для установки HEPA фильтров**

127 238, Москва, Дмитровское шоссе, д.46, к.2 тел. (495) 730-81-19;  
ф.(495) 482-27-01 e-mail: folter@folter.ru www.folter.ru  
Представительства: Санкт-Петербург (812) 320-53-34; Н.Новгород (8312) 58-75-16;  
Екатеринбург (343) 379-42-67 Украина -Харьков (057) 719-35-52

**ФОЛТЕР**

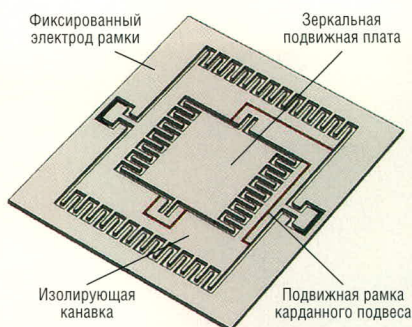


Рис. 14. Топология MEMS-модулятора

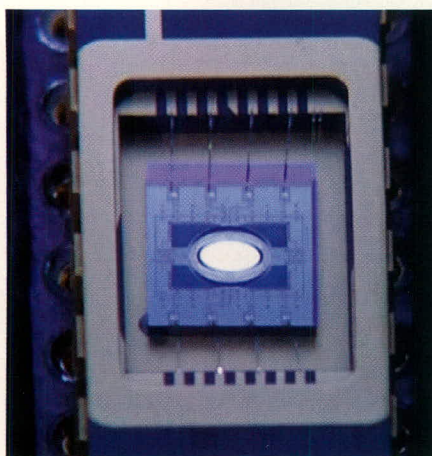


Рис. 15. Модулятор проектора

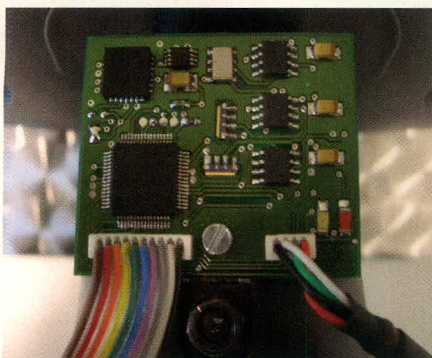


Рис. 16. Модуль инерциальной системы проектора

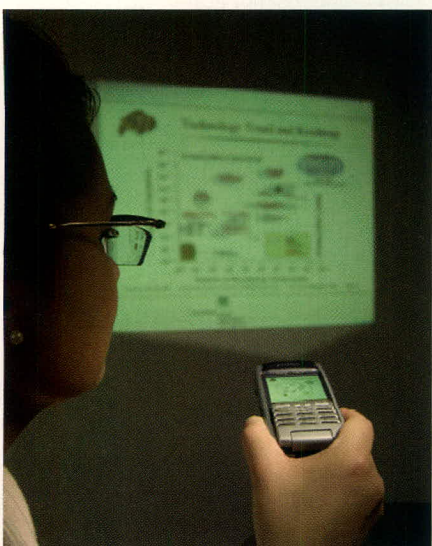


Рис. 17. Испытание прототипа встроенного в мобильное устройство проектора со стабилизацией изображения

ромагнитный микропривод или же пьезопривод. Вторая особенность состоит в том, что проектор оснащён инерциальной системой на основе трёхкоординатного акселерометра, которая позволяет отслеживать дрожания, вибрации, смещения корпуса проектора в руке пользователя и за счёт наличия обратной связи с системой развёртки стабилизировать проектируемое изображение.

Аналогичная оптическая стабилизация изображения применяется и в современных цифровых фото- и видеокамерах. Разница состоит в том, что в проекторе обратная связь от датчиков инерциальной системы подаётся не на отдельный привод оптической системы, а используется для коррекции траектории движения микрозеркала в 2D-сканере.

Конструкция сканера – двойной карданный подвес с электростатическим резонансным управлением по обеим плоскостям. Амплитуда управляющих сигналов может достигать 70 В. На рис. 14 показана топология MEMS-модулятора.

Микрозеркало в процессе сканирования отклоняется по горизонтали и по вертикали на углы  $\pm 10^\circ$ . Поверхность зеркала на своём карданном подвесе колеблется с частотой 28 кГц, а рамка кардана – с частотой 2 кГц. На рис. 15 показан блок модулятора.

Существует два типа проектора: монохромный (красный лазер с длиной волны 635 нм) и цветной (RGB-лазеры). В обоих вариантах для развёртки изображения используется всего один 2D MEMS-сканер.

Модуль инерциальной системы спроектирован на базе стандартных компонентов без применения заказных микросхем (см. рис. 16). В модуле используются два набора датчиков. Один – для слежения за наклонами вверх-вниз и вправо-влево, а второй – для отслеживания абсолютных смещений по двум осям. Размер модуля: 40 × 60 мм.

В качестве углового датчика используется трёхосный интегральный акселерометр фирмы ST Microelectronics. В качестве датчика смещения – интегральный трёхосный гироскопический датчик фирмы Epson. В качестве процессора для считывания и обработки сигналов с датчиков в прототипе применялся 8-разрядный микроконтроллер

фирмы Texas Instruments с портом USB. Испытание прототипа встроенного в мобильное устройство проектора со стабилизацией изображения показано на рис. 17.

### MEMS-модулятор для проекционного модуля IPM фирмы Microvision

Для сравнения с модулятором Fraunhofer IPMS приведём краткое описание аналогичного MEMS-модулятора фирмы Microvision (см. рис. 18). Ключевым элементом технологии интегрированного проекционного модуля (IPM) Microvision является MEMS-модулятор. В состав модуля входит источник света и блок управляющей электроники. Блок электроники обеспечивает приём и преобразование видеосигнала в сигналы управления XY-разверткой и модуляцией светового луча. Конструкция интегрированного модуля обеспечивает технологичность производства, малую цену, габариты и удобство применения. Модуль является функционально законченным узлом и не требует от потребителя дополнительных устройств для схемотехнического, конструкционного или оптического согласования.

Технологический процесс изготовления модуля полностью автоматизирован. Патентованная конструкция Microvision MEMS-модулятора содержит оптические зеркала и шарниры, сформированные на кремниевой подложке при использовании стандартной полупроводниковой технологии. Размер кристалла модулятора чуть меньше половины десятицентовой монеты. Тончайшее зеркало сканера имеет площадь меньше 1 мм<sup>2</sup>. Зеркало сканера обеспечивает поступательные движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях так, что один световой луч, двигаясь с большой скоростью, прорисовывает видеоизображение на плоскости экрана. Microvision запатентовала технологию изготовления модуля IPM, а также исключительные права как на все дисплейные применения этого модулятора, так и на область сканирования штрих-кодов, а также в других категориях устройств с формированием изображения, включая медицинские приложения.

В качестве приводов в сканере используются два актуатора: электро-

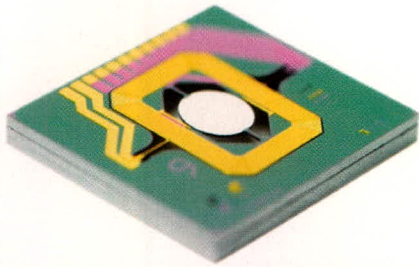


Рис. 18. MEMS-модулятор фирмы Microvision

магнитный (вертикальное сканирование) и электростатический (сканирование по горизонтали).

На первой рамке подвеса расположена планарная катушка электромагнитного актуатора, а на второй, неподвижной подложке – обкладки конденсатора электростатического актуатора. Принцип управления модулятором прост, однако в реальности возникает ряд проблем. Вследствие нелинейности и неравномерности движения плоскости зеркала сканера по X- и Y-координатам будут возникать подушкообразные геометрические искажения, а также искажения пропорций изображения. Кроме того, при развёртке возникает также кросс-эффект, связанный с воздействием на микроструктуру подвеса магнитной и

электрической составляющих отклоняющих полей. Этот эффект возникает из-за наличия паразитных емкостей конструкции. Кросс-эффект также приводит к нелинейности движения зеркала. Для компенсации всех этих искажений в цепи управления приводами по координатам X и Y применяются тензометрические датчики угла.

Ещё одной проблемой является обеспечение плоскостности микрозеркала, т.к. в процессе формирования подложки зеркала и отражающей плёнки неизбежно возникновение механических напряжений на границах различных плёнок, деформирующих поверхность зеркала. Поэтому в конструкцию и топологию зеркала вводятся специальные буферные элементы, которые позволяют компенсировать механические напряжения и предотвратить изгиб плоскости зеркала. Размер зеркала для монохромного сканера Microvision составляет 1,4 мм при коэффициенте отражения 85...90%. Углы поворота зеркала по горизонтали составляют  $6,7^\circ$ , а по вертикали –  $4,7^\circ$ . Максимальная частота сканирования строк составляет 19 200 Гц, кадров – 60 Гц.

## Выводы

Проекционные дисплейные технологии продолжают развиваться и наращивать своё присутствие на рынках электронной аппаратуры. Уменьшаются габариты и цена дисплейных проекционных устройств. Новые технологии позволяют получить новые функциональные характеристики дисплейных устройств и расширить сферу их применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Steegmueller U., Kuebnelt M., Unold H., Schwarz T., Schulz R., Singer F. Digest SID'07. RGB Laser for Mobile Projection Devices. OSRAM Opto Semiconductors.
2. Digest SID'07. Twenty Megapixel MEMS-based Laser Projector. David M. Bloom ALCES Technology, Jackson, Wyoming, USA Allen H. Tanner Evans & Sutherland Computer Corporation, Salt Lake City, Utah, USA.
3. Gruger H., Heberer A., Gerwig C., Nauber P., Scholles M., Hubert Lakner Fraunhofer IPMS, Maria-Reiche-Str. Digest SID'07. MOEMS Laser Projector for Handheld Devices Featuring Motion Compensation.
4. Самарин А.В. Микропроекторы для мобильных приложений. Электронные компоненты. 2006. № 10.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Дисплейная электроника тоже может быть прозрачной

Мы уже настолько привыкли к разнообразным достижениям научно-технического прогресса, что уже перестали удивляться всякого рода гибким дисплеям и электронным устройствам, напечатанным на какой-либо, в том числе органической, подложке. Последняя разработка группы учёных из университета Пердью (Purdue University), Северо-Западного университета (Northwestern University) и университета Южной Каролины (University of Southern California) посвящена тому, чтобы обеспечить лучшее пропускание света в гибких дисплеях на органической подложке. Ещё одной отличительной особенностью новых дисплеев является то, что их транзисторы созданы по технологии нанопроводников. Свою разработку учёные позиционируют для применения в «электронной бумаге», «очковых» дисплеях и экранах, интегрированных в ветровое стекло автомобиля.

Транзисторы, выполненные из полностью прозрачных нанопроводников, контролируют ток, протекающий через каждый пиксел активноматричного светодиодного

дисплея (AMOLED). Точнее, нанопроводники играют роль активного канала, а исток, сток и затвор выполнены из прозрачного проводящего оксида. Что немаловажно, в созданном прозрачном тонкоплёночном транзисторе (TFT) удалось добиться высокой подвижности носителей заряда, что, вообще говоря, не всегда свойственно органическим TFT-устройствам. А это означает, во-первых, высокую эффективность, т.е. большую яркость или меньшее энергопотребление, а во-вторых, высокую скорость переключения, что, в частности, является вполне достаточным для комфортного просмотра видеофрагментов даже с быстрой сменой планов.

Так как обычно транзисторы контроллера дисплея не пропускают свет достаточно хорошо, их располагают вокруг экрана. Прозрачные транзисторы можно разместить прямо на дисплее, увеличив его полезную площадь или увеличив степень интеграции дисплейной электроники. При этом процесс производства таких транзисторов достаточно прост и позволяет надеяться на быстрое внедрение в коммерческие продукты.

PhysOrg.com

### Светодиодная подсветка завоёвывает рынок ЖК-дисплеев

С этого года применение светодиодной подсветки охватило почти 100% от общего объёма выпускаемых ЖК-мониторов с диагональю 10" и менее. По мнению источников, распространение такого способа реализации подсветки будет распространяться и дальше, постепенно завоёвывая позиции в 13" и меньшего размера жидкокристаллических матрицах для ноутбуков. В номенклатуре компаний Sony, Toshiba и Apple уже имеются мобильные системы с подобными мониторами, а вскоре их появление ожидается у HP и Dell.

Хотя в настоящее время применение светодиодной подсветки из соображений стоимости производства скорее оправдано для продукции высокого уровня, производители ноутбуков и ЖК-матриц позитивно оценивают спрос на более прогрессивную разновидность конструкции. Ожидается, что на рынке ноутбуков доля моделей со светодиодной подсветкой ЖК-мониторов в 2008 г. достигнет 7% по сравнению с 3...5% в текущем году.

digitimes.com

# Диагностика химических источников тока

Алевтина Таганова (Санкт-Петербург)

В статье рассматриваются методики диагностирования химических источников тока, используемые при производстве и эксплуатации батарей электропитания разнообразной портативной аппаратуры. Приводятся требования, предъявляемые к испытательной аппаратуре.

При использовании химических источников тока (ХИТ) для автономного электропитания портативной аппаратуры вопросы оценки качества и работоспособности ХИТ возникают уже при выборе конкретного типа источника среди аналогичной продукции разных компаний, а также при входном контроле. В настоящее время эта задача стоит особенно остро, так как проектировщик систем питания имеет возможность выбирать химические источники тока среди отечественной и зарубежной продукции самого разного качества, а информация о характеристиках ХИТ часто доступна в ограниченном объёме.

Призывы использовать изделия только известных компаний с гарантированным качеством традиционной серийной продукции не всегда оказываются эффективными, так как конкурентная гонка производителей ХИТ приводит к частому обновлению номенклатурных рядов и завышению параметров новой продукции в рекламных материалах. Следует обратить внимание на важную особенность зарубежной продукции: её использование предполагается обычно в странах с умеренным климатом и, как правило, документация не содержит гарантий работоспособности ХИТ при низкой температуре.

Если перед проектировщиком и изготовителем радиоэлектронной аппаратуры стоит задача выбора источника тока, наиболее пригодного для данного изделия, то пользователя аппаратуры интересует возможность оценивать в любой момент степень разряженности (остаточную ёмкость) источников тока и степень их деградации (постепенного ухудшения электрических характеристик). Эти задачи становятся особенно актуальными

при разработке систем автономного питания с большим напряжением, с длинной цепочкой последовательно (и, возможно, параллельно) соединённых химических источников тока. В ответственных приложениях ставится задача постоянного мониторинга состояния отдельных источников тока.

Решение всех этих задач возможно при наличии:

- диагностических параметров источников тока, которые позволили бы с заданной точностью обеспечить оценку их состояния;
- информации о количественной мере этих параметров у выбранного источника тока и их статистическом разбросе;
- аппаратуры для реализации процедуры диагностики без изменения состояния самого источника тока (как при хранении, так и под нагрузкой в процессе эксплуатации).

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Очевидно, что наибольшие проблемы возникают при диагностике герметичных источников тока, у которых возможно измерение только электрических характеристик. У таких источников тока, одноразовых (элементов) и перезаряжаемых (аккумуляторов), для этих целей используются одинаковые характеристики:

- напряжение при разомкнутой цепи и под нагрузкой;
- полное внутреннее сопротивление;
- реакция на специфический тестовый сигнал, позволяющая выявить составляющие внутреннего сопротивления, которые отражают особенности электрохимической природы, конструкции и технологии изготовления источников тока.

Устойчивые методы диагностики с помощью достаточно простых аппа-

ратурных средств удаётся найти не для всех химических источников тока.

Напряжение разомкнутой цепи (НРЦ) в качестве диагностического параметра пытались использовать, прежде всего, при оценке состояния элементов, – однако без особого успеха, так как его изменение при уменьшении сохраняемой ёмкости незначительно и соизмеримо с разбросом НРЦ «свежих» элементов.

Измерение НРЦ целесообразно производить лишь у свинцово-кислотных аккумуляторов, особенно при оценке состояния их разряженности, так как уменьшение НРЦ в процессе разряда значительно из-за изменения концентрации и электропроводности электролита. При температуре 25°C значение НРЦ заряженных свинцовых аккумуляторов линейно понижается примерно на 10% при исчерпании запасённой ёмкости. Измерение НРЦ может помочь в диагностике отдельных аккумуляторов и используется при мониторинге их состояния в собранной батарее. Но разброс НРЦ в партии однотипных изделий довольно значителен, что уменьшает точность диагностики при отсутствии информации о характеристике конкретного химического источника тока. На значение НРЦ сильное влияние оказывает и температура электролита, которая после цикла разряда стабилизируется с большой инерцией и не может быть оценена по температуре корпуса источника тока.

Напряжение под нагрузкой  $U_{\text{раб}} = \text{НРЦ} - IR_{\text{полное}} = \text{НРЦ} - I(R_{\Omega} + R_{\text{пол}})$ , где  $I$  – ток разряда;  $R_{\text{полное}}$  – полное внутреннее сопротивление;  $R_{\Omega}$  – омическое сопротивление, определяемое сопротивлением токоподводящих деталей электродов, их активной массы и электролита;  $R_{\text{пол}}$  – поляризационное сопротивление, отражающее скорость электрохимических процессов (включает и ёмкостное сопротивление). Этот параметр даёт большие возможности для оценки состояния источника тока, но требу-

ет регламентирования величины нагрузки и её характера, так как поляризационное сопротивление зависит от величины разрядного тока. Для того чтобы можно было отчетливее проявить различие испытываемых источников тока (при диагностике их качества и/или оценке состояния разряженности и деградации), нагрузка должна быть достаточно большой и определённой продолжительности.

Для источников тока разных электрохимических систем ГОСТ РФ регламентирует различные параметры тестового сигнала, которые позволяют оценивать внутреннее сопротивление источника тока, полное или обе составляющие (в зависимости от того, как организована регистрация отклика: при наложении разрядного импульса постоянного тока на  $R_{\Omega}$  происходит мгновенное уменьшение напряжения, а  $R_{пол}$  обеспечивает постепенное его изменение до нового стационарного состояния).

Международным и российским стандартом установлены две методики измерения внутреннего сопротивления: на постоянном токе и на переменном токе частотой 1000 Гц.

Методика измерения внутреннего сопротивления ХИТ на постоянном токе обеспечивает измерение отклика после сигнала, стандартизованного по току и его продолжительности. Результаты измерений  $R_{полное} = (U_1 - U_2)/(I_2 - I_1)$  отражают полное сопротивление источника тока. Аппаратурная реализация таких измерений достаточно проста, но для получения информации о  $R_{\Omega}$  необходимо обеспечить высокую скорость считывания напряжения, чтобы иметь возможность разделения отклика по двум составляющим.

Сопротивление ХИТ зарубежного производства обычно характеризует-

ся в каталогах значением, измеренным по второй методике, т.е. на переменном токе частотой 1000 Гц;  $Imp = U_-/I_-$ . Эта методика основана на предварительной информации о том, что импеданс ХИТ при частоте разрядного тока 1000 Гц приблизительно равен сопротивлению  $R_{\Omega}$  для многих типов источников тока (элементов, щелочных и литий-ионных аккумуляторов широкого номенклатурного ряда). Для свинцово-кислотных аккумуляторов это условие не выполняется.

В настоящей статье рассматриваются возможности оценки качества и состояния цилиндрических герметичных щелочных аккумуляторов, наиболее часто используемых для питания портативной аппаратуры. Более детальную информацию об этих изделиях, а также информацию об особенностях диагностики ХИТ других электрохимических систем можно найти в книге [1].

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И РАБОТОСПОСОБНОСТИ «СВЕЖИХ» ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Работоспособность химического источника тока определяется двумя основными характеристиками: ёмкостью и рабочим напряжением при соответствующем уровне нагрузки. Номинальная ёмкость и стандартное рабочее напряжение ХИТ обеспечиваются при стандартном разрядном токе малой плотности. Но проектировщика системы автономного электропитания, как правило, интересует поведение ХИТ при значительно большей нагрузке, когда разрядная ёмкость уменьшается, а рабочее напряжение снижается на всех стадиях разряда.

Современные методы выходного контроля, используемые при произ-

водстве ХИТ, определяют только нижнюю допустимую границу величины номинальной ёмкости. Информация о реальном разбросе ёмкости может помочь проектировщику при выборе производителя ХИТ, а также позволяет определить уровень требований к сортировке аккумуляторов при комплектации батарей.

Обычно для обеспечения однородности аккумуляторов в батарее их сортировка производится величине реальной ёмкости в номинальном режиме цикла заряд-разряд. Но для источников питания с большим ресурсом и работоспособностью в широком диапазоне изменения режимов и температурных условий необходимо учитывать и внутреннее сопротивление, которое определяет уровень рабочего напряжения ХИТ и степень уменьшения отдаваемой энергии. Изменение этих параметров в наибольшей степени определяется омическим сопротивлением  $R_{\Omega} \approx Imp_{1000 \text{ Гц}}$ . Разброс  $R_{\Omega}$  отражает уровень стабильности технологического процесса сборки аккумулятора и дозировки электролита. Снижение разрядного напряжения при низкой температуре значительно больше у аккумуляторов с большим  $R_{\Omega}$ .

В таблице в качестве примера представлена информация о реальном разбросе характеристик герметичных щелочных аккумуляторов наиболее часто используемого типа-размера АА, производимых различными компаниями.

Увеличение ресурса батарей, собранных из аккумуляторов с водным электролитом, может быть достигнуто дополнительной сортировкой аккумуляторов по зарядной характеристике, которая обычно не измеряется при входных испытаниях изделий. Нестандартное протека-

Характеристики герметичных цилиндрических щелочных аккумуляторов типоразмера АА

| Тип аккумулятора              | Ёмкость разрядная средняя, мАч, при разных токах и предельных напряжениях разряда |          |            | Разброс по ёмкости, %, при токе |    | $R_{\Omega}$ средняя, мОм | Разброс по сопротивлению, % |
|-------------------------------|---|----------|------------|---------------------------------|----|---------------------------|-----------------------------|
|                               | 0,2С (1 В)  | 3С (1 В) | 3С (0,8 В) | 0,2С                            | 3С |                           |                             |
| <b>Никель-кадмиевые</b>       |   |          |            |                                 |    |                           |                             |
| VSE AA 940 SAFT               | 970   | 770      | 800        | 6                               | 17 | 18                        | 11                          |
| P-100AA Panasonic             | 1025  | 770      | 800        | 4                               | 20 | 17,5                      | 15                          |
| KR-110AAU Sanyo               | 1120  | 1000     | 1040       | 4                               | 6  | 12                        | 17                          |
| GP-100AAS GP                  | 1175  | 715      | 745        | 5                               | 8  | 20                        | 25                          |
| <b>Никель-металлгидридные</b> |   |          |            |                                 |    |                           |                             |
| VH AA 1700 SAFT               | 1730  | 1050     | 1500       | 2                               | 6  | 27                        | 20                          |
| HR-AAUL Sanyo                 | 1490  | 1245     | 1440       | 4                               | 4  | 25                        | 28                          |
| GP-160AAS GP                  | 1560  | 1290     | 1400       | 26                              | 25 | 18                        | 22                          |
| HR 15/51-1,5 АК «Ригель»      | 1535  | 1165     | 745        | 4                               | 6  | 18                        | 22                          |

ние побочных процессов кислородного цикла отражается в более раннем увеличении зарядного напряжения, которое, однако, находится в пределах нормы и, как правило, не регистрируется. Включение такого аккумулятора в состав батареи приводит к уменьшению срока её эксплуатации.

Если заряженный источник питания долго хранится перед использованием, следует организовать сортировку аккумуляторов и по скорости саморазряда. В документации производителя эта характеристика отражена значением максимальной потери ёмкости через 28 суток хранения, но реальный разброс может быть очень большим (особенно при меньших продолжительностях хранения), что приводит к разбросу аккумуляторов по ёмкости при хранении батареи. Ввиду продолжительности испытаний этот параметр проверяется изготовителем батарей очень редко. Следует помнить, что зависимость потери ёмкости от времени является нелинейной из-за специфики протекающих процессов, и корреляция потери ёмкости при 1–2 и 28 сутках хранения очень низкая. Поэтому разброс параметра саморазряда целесообразно оценивать при длительности хранения не менее 5–7 суток.

### ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАЗРЯЖЕННОСТИ И ДЕГРАДАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Возможности диагностирования состояния разряженности источников тока обусловлены, главным образом, изменением параметра внутреннего сопротивления, – обычно, его омической составляющей. Так, значения  $R_{\Omega}$  вышеописанных никель-кадмиевых аккумуляторов сохраняются неизменными вплоть до 80-% разряда, но затем возрастают на 20...30%. Увеличение  $R_{\Omega}$  при разряде тем больше, чем меньше номинальная ёмкость источников тока. Напротив, сопротивление никель-металлгидридных аккумуляторов в первой трети цикла разряда уменьшается, а затем стабилизируется.

Омическое сопротивление герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов изменяется в процессе разряда также нелинейно: существенный рост происходит во второй половине разряда. У литий-ионных аккумуляторов в наибольшей степени меняется поляризационное сопротивление.

При циклировании ХИТ в процессе эксплуатации увеличение сопротивления, фиксируемое при одинаковой степени разряженности, определяется как изменениями в активных массах электродов, так и уменьшением количества электролита и его перераспределением в элементах конструкции. Увеличение сопротивления может достигать десятков процентов. Этот эффект наблюдается как в аккумуляторах с водным электролитом, так и в литий-ионных аккумуляторах.

Длительное хранение аккумуляторов также приводит к заметному увеличению омического сопротивления, что определяет высокое зарядное напряжение и нестандартную зарядную характеристику на первом после паузы цикле заряда. Но этот эффект обычно полностью исчезает после 2–3 циклов заряда-разряда.

В процессе хранения литий-ионных аккумуляторов высокая реактивная способность лития приводит к сильной пассивации поверхности электрода. Это отражается на поляризационном сопротивлении аккумулятора и приводит к увеличению провала напряжения при подключении нагрузки.

### АППАРАТУРНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ХИТ

Измерение напряжения источников тока с необходимой точностью может быть обеспечено соответствующей аппаратурой. Обычно измерения напряжения производятся с погрешностью не более  $\pm(0,001...0,005)\%$ . Измерения внутреннего сопротивления источников тока могут производиться как при их отключении от нагрузки, так и в процессе разряда.

Измерения по методике постоянного тока непосредственно в процессе разряда производятся наложением импульса тока требуемой длительности. Однако следует помнить, что значения токов могут отличаться от регламентируемых, и в этом случае результаты измерений могут быть использованы только для оценки относительных изменений полного сопротивления  $R_{\text{полное}}$  за интересующий период. Следует также отметить, что точность измерения сопротивления разряженных источников тока значительно уменьшается, так как они могут не достичь стационарного состояния после наложения большого импульса тока. Для выделения из отклика источ-

ника тока составляющей, соответствующей величине омического сопротивления  $R_{\Omega}$ , необходимо обеспечить измерение отклика со скоростью 1 раз в 10 мс.

Более точные измерения сопротивления, как в отключенном состоянии, так и под нагрузкой, обеспечиваются при использовании методики переменного тока. Испытательный сигнал переменного тока частотой 1000 Гц должен быть низкого уровня (ток порядка  $0,005...0,01C_n$ ), чтобы не изменять состояние ХИТ. В этом случае результаты измерений могут быть усреднены по десятку периодов переменного тока. Значения  $\text{Impr}_{1000\text{Гц}} \approx R_{\Omega}$ , измеренные при этой методике, могут значительно отличаться от результатов измерений на постоянном токе.

Следует отметить, что в общем случае эквивалентная схема источника тока кроме омического сопротивления обязательно содержит и ёмкостное, а у аккумуляторов большой ёмкости имеет место и индуктивное сопротивление. Регистрация отклика на испытательный сигнал переменного тока в широком диапазоне частот позволяет обеспечить более точное представление о состоянии ХИТ. Такое тестирование требует, конечно же, более сложного оборудования, соблюдения специфических методик диагностики и значительного времени. В настоящее время такие работы проводятся на дорогом лабораторном оборудовании при исследовании отдельных электродов и источников тока.

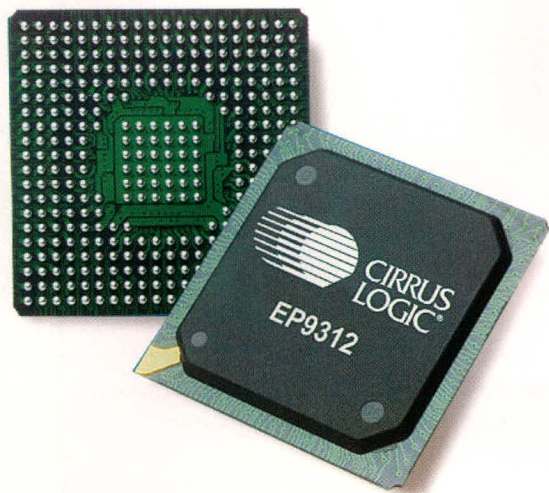
Для диагностики состояния реальных ХИТ необходимо определить более узкий диапазон частот, позволяющий оценить необходимые параметры, и разработать значительно более дешёвую измерительную аппаратуру. Некоторые успехи на этом пути описаны в книге [1]: диагностика состояния ХИТ становится более эффективной при добавлении к измерениям импеданса на частоте 1000 Гц измерений сопротивления в области частот порядка десятков герц и ниже. В некоторых случаях удаётся найти монотонную частоту, при которой аппаратурное оформление процедуры решается наиболее просто.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Таганова А.А. Диагностика герметичных химических источников тока. СПб: Химиздат, 2007.



# Процессоры с архитектурой ARM: Мобильные системы на кристалле



Процессор EP9312

## Основные достоинства

- Высокая производительность
- Система на кристалле, требующая минимум внешних компонентов
- Большое количество интегрированных интерфейсов:
  - Ethernet-интерфейс
  - интегрированный графический контроллер с поддержкой сенсорного экрана (до 1024×768 точек)
  - контроллер IDE
  - контроллер USB
  - поддержка PCMCIA
- Минимальный ток потребления: идеальное решение для портативных устройств
- Поддержка операционных систем Linux и Windows CE 5.0

## ARM процессоры седьмой серии

| Наименование | Ядро    | Скорость (МГц) | Кэш  | MMU | Контроллер DRAM | Встроенная SRAM (КБ) | LCD контроллер | DAI | Ethernet MAC | Температурный диапазон | Корпус                            |
|--------------|---------|----------------|------|-----|-----------------|----------------------|----------------|-----|--------------|------------------------|-----------------------------------|
| EP7309       | ARM720T | 74             | 8 Кб | +   | -               | 48                   | +              | +   | -            | Комм./Индустр.         | 208 LQFP<br>256 PBGA<br>204 TFBGA |
| EP7311       | ARM720T | 90 и 74        | 8 Кб | +   | SDRAM           | 48                   | +              | -   | -            | Комм./Индустр.         | 208 LQFP<br>256 PBGA<br>204 TFBGA |
| EP7312       | ARM720T | 90 и 74        | 8 Кб | +   | SDRAM           | 48                   | +              | +   | -            | Комм./Индустр.         | 208 LQFP<br>256 PBGA<br>204 TFBGA |

## Типичные применения

- Охранные системы
- Медицинское оборудование
- Модули графического интерфейса с пользователем
- NAS-серверы
- Мультимедиа устройства



Набор для разработчиков EDB9315

Приобрести продукцию Cirrus Logic можно в компании ПРОСОФТ

**PROSOFT**®

**ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

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

# Высокоёмкие конденсаторы для 0,5-вольтовой наноэлектроники будущего

Александр Деспотули, Александра Андреева (Московская обл.)

В наноэлектронике с уменьшением технологических норм и напряжения электропитания до 0,5 В резко возрастает необходимость использования высокоёмких конденсаторов микронных размеров. Конденсаторы традиционных типов не обладают нужной плотностью ёмкости, радиационной и температурной стойкостью. В статье показана необходимость разработки наноионных суперконденсаторов (НСК) на основе плёнок передовых суперионных проводников (ПСИП). Потребность рынка в таких приборах – дело ближайшего будущего.

## ВВЕДЕНИЕ

В портативных устройствах конденсаторы выделяются на фоне других компонентов своими большими размерами. С развитием наноэлектроники и связанных с ней критических технологий проблема создания конденсаторов и импульсных накопителей мик-

ронных размеров с высокими плотностями энергии ( $\rho_E$ ), ёмкости ( $\rho_C$ ) и мощности ( $\rho_W$ ) резко обостряется.

Плотность транзисторов в интегральных схемах (ИС) ограничена возможностями отвода тепла, но не размерами самих приборов, поэтому управление тепловыми потоками в современных ИС становится основной задачей и стимулирует разработки экономичных транзисторов с ультранизким напряжением электропитания ( $V_{dd}$ ). У процессоров фирмы Intel с уменьшением технологической нормы повышается частота функционирования и понижается  $V_{dd}$  (см. рис. 1).

На рис. 2 показан прогноз изменений к 2020 г. величины  $V_{dd}$  и длины затвора CMOS-транзисторов (прогноз ITRS-2006). Для наноэлектроники ближайшего будущего базовые технологии ещё не выбраны. Одна из возможных технологий – это полевые транзисторы на основе InSb с  $V_{dd} = 0,5$  В [2].

В микросистемной технике, беспроводных технологиях и малогабаритных цифровых приборах потребительской электроники остро стоит проблема снижения расхода энергии на обработку 1 бита. Расчёты показывают, что для КМОП-приборов минимум потребляемой энергии достигается при  $V_{dd} \leq 0,3$  В.

Среди технологий, которые могут стать базовыми при создании 0,5-вольтовой наноэлектроники, можно выделить следующие:

- низковольтные логика, память и аналоговые цепи [3, 4];

- первая в мире 100-милливольтовая интегральная КМОП [5];
- полевой транзистор на основе нанотрубки с высоким отношением проводимости во включенном и выключенном состоянии ( $\sim 10^6$ ) и напряжением смещения  $\approx 0,5$  В [6];
- полевой эффект для графена – нового перспективного 2D-материала, сочетающего химическую и механическую стабильность [7];
- молекулярные, одномерные нанопроволочные и гибридные приборы;
- 0,4-вольтовые наноионные переключатели на основе суперионных проводников с квантованной проводимостью [8].

Прогресс в разработке аналоговой интегральной 0,4...0,5-В электроники описывается в монографии [9].

Ниже обосновывается необходимость использования в будущей 0,5-вольтовой наноэлектронике [10, 11], беспроводных технологиях, микросистемной и космической технике, RFID, высокотемпературной электронике и др. твердотельных высокоёмких импульсных суперконденсаторов с быстрым ионным транспортом (БИТ) в двойном электрическом слое (ДЭС) на функциональных гетеропереходах «передовой суперионный проводник/электронный проводник (ПСИП)/(ЭП)». Такие наноионные суперконденсаторы (НСК) могут производиться по микроэлектронным технологиям. Плотности энергии и ёмкости НСК на 1 – 2 десятичных порядка выше, чем у конденсаторов традиционных типов с тонкими плёнками сегнетоэлектрических керамик ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$  и др.). «Генетический» недостаток последних – экспоненциально быстро возрастающие токи утечки при толщинах плёнки диэлектрика менее 2 нм. Частотный диапазон функционирования НСК определяется явлением БИТ в ДЭС и имеет теоретический предел  $\sim 10^{10}$  Гц (300 К), что соответствует частоте перескоков подвижных ионов в объёме ПСИП.

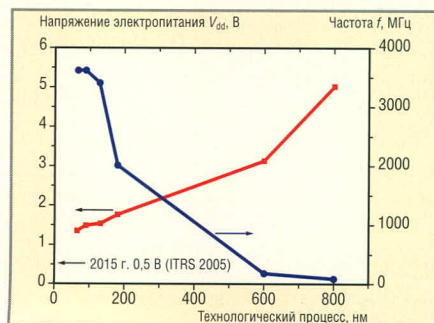


Рис. 1. Частота  $f$  и рабочее напряжение  $V_{dd}$  для процессоров фирмы Intel в зависимости от технологической нормы [1]

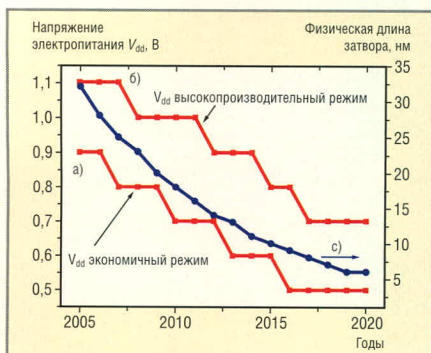


Рис. 2. Прогноз изменения  $V_{dd}$  и длины затвора КМОП-транзисторов (ITRS-2006)

- (а) экономичный режим,
- (б) высокопроизводительный режим,
- (с) длина затвора

Высокие  $\rho_C$  в НСК ( $V_{dd} \approx 0,5$  В) не связаны с туннельным током утечки.

Для оценки порядковой стоимости рынка НСК предлагается формула:

$$B_{НСК} = \sum_j N_{ИС}^j A_{ИС}^j S, \quad (1)$$

где  $B_{НСК}$  – валовая стоимость НСК,  $j$  – индекс сектора рынка,  $N_{ИС}^j$  – число произведённых ИС,  $A_{ИС}^j$  – средняя стоимость одной ИС,  $S$  – средняя доля площади ИС, занимаемая НСК. Например, в секторе RFID у дешёвых чипов конденсаторы энергетического блока занимают  $\approx 1/4$  площади, т.е. можно принять  $S \approx 0,25$ . Согласно прогнозу [12], за период 2006 – 2016 гг. рынок RFID вырастет в 10 раз и достигнет  $\sim \$26$  млрд.

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУБВОЛЬТОВЫХ ВЫСОКОЁМКИХ МИКРОКОНДЕНСАТОРОВ

В цифровой электронике с увеличением частоты  $f$  и понижением  $V_{dd}$  возрастают токи  $i$  на внутренних шинах микросхем. Большие  $i$  создают источники шума, минимизировать влияние которых можно с помощью развязывающих конденсаторов  $C_{decap}$ . Если рассеиваемая мощность  $P = 100$  Вт,  $f = 1$  ГГц и  $V_{dd} = 1,4$  В, то:

$$C_{decap} > 10 P f^{-1} V_{dd}^{-2} \sim 0,5 \text{ мкФ}. \quad (2)$$

При низких  $V_{dd}$  и высоких  $P$  значения  $di/dt \approx P f V_{dd}^{-1}$  на нагрузках возрастают. Чтобы напряжение шумового источника, определяемого  $di/dt$ , не увеличивалось по отношению к  $V_{dd}$ , необходимо:

- увеличить площадь, занимаемую  $C_{decap}$  (но это ведёт к уменьшению производительности и функциональности ИС);
- увеличить у  $C_{decap}$  плотность ёмкости  $\delta_C$  (мкФ/см<sup>2</sup>) и  $\rho_C$  (мкФ/см<sup>3</sup>).

Для наноприборов  $1/f$  шум, спектральная плотность которого  $\sim \alpha N^{-1} f^{-1}$ , является фундаментальной проблемой ( $N$  – число электронных носителей в образце). В совершенных эпитаксиальных слоях константа  $\alpha \sim 10^{-6} \dots 10^{-4}$ , а в дефектных слоях она значительно больше. Например, в рMOSFET  $1/f$  шум возрастает в 10...100 раз при уменьшении размеров прибора с 350 до 130 нм [13]. Комплексный шум фильтруют с помощью параллельного соединения нескольких конденсаторов, отличающихся временем релаксации  $\tau$ , ём-

костью, индуктивностью и эквивалентным сопротивлением. Конденсаторы с большими значениями  $\tau$  и  $\rho_C$  ( $\delta_C$ ) используют также в низкочастотных фильтрах, усилителях, сейсмических детекторах, цепях питания и др.

Для миниатюрных автономных объектов критических и прорывных технологий требуются импульсные накопители с высокими значениями  $\rho_E$ ,  $\rho_C$  и  $\rho_W$ . Субвольтовые источники, черпающие энергию из окружающей среды (свет, градиенты давления и температуры, вибрации и др.), и  $\beta$ -радиоизотопные микрогенераторы совместно с импульсными накопителями могут обеспечить длительное функционирование мобильных приборов потребительской электроники, сетей беспроводных микросенсоров и микророботов, пикоспутников, систем беспроводной радиочастотной идентификации (RFID) и др. По мнению автора концепции Smart Dust (J. Pister), автономные источники электропитания с  $V_{dd} \leq 0,5$  В будут использоваться в цифровой и аналоговой электронике беспроводных самоподдерживающихся сетей с узлами, обладающими сенсорными, вычислительными и коммуникативными функциями [14]. В случае включения в силовой блок узлов 3-вольтовых литиевых элементов, для понижения напряжения необходимы DC/DC-преобразователи, в состав которых входят высокоёмкие конденсаторы.

Современные RFID-чипы с размерами  $0,3 \times 0,3 \times 0,06$  мм включают структуры, преобразующие внешний радиочастотный сигнал в постоянный ток. В простейшем случае – это антенна, диод и конденсатор-накопитель ( $\delta_C \sim 0,35$  мкФ/см<sup>2</sup>), определяющий функциональные возможности чипа.

Ёмкость конденсатора-накопителя RFID-чипа определяется формулой:

$$C \approx i \Delta t (V_{max} - V_{min})^{-1}, \quad (3)$$

где  $V_{max}$  и  $V_{min}$  – предельные значения напряжения,  $i$  – средний ток на нагрузке во время активной стадии работы,  $\Delta t$  – время передачи данных. У 0,5-вольтовых RFID величина  $\Delta V = V_{max} - V_{min}$  должна быть  $\approx 0,1$  В, что сильно отличается от  $\Delta V \approx 1$  В для современных чипов.

Излучаемые RFID-чипом энергия  $CV_{max}\Delta V$  и мощность  $CV_{max}\Delta V/\Delta t$  зависят от дистанции и протокола радиобмена. Если  $V_{max}$  уменьшится в 3 ра-

за, а  $\Delta V$  – в 10 раз, то для сохранения значений  $CV_{max}\Delta V$  ёмкость  $C$  должна возрасти в  $\sim 30$  раз, но на чипе с  $\delta_C \sim 0,35$  мкФ/см<sup>2</sup> нет места для размещения конденсатора такой ёмкости. Приемлемо, когда  $S \approx 0,1$ , но конденсаторы традиционных типов не могут обеспечить  $\delta_C \sim 50$  мкФ/см<sup>2</sup>.

Операционные частоты конденсаторов-накопителей должны соответствовать несущей частоте радиобмена. В стандартах RFID используются частоты 135 кГц, 13,56 МГц, 2,45 ГГц, 860...960 МГц и др. Таким образом, RFID-чипам с напряжением электропитания 0,5 В необходимы конденсаторы с операционной частотой от  $10^5$  до  $10^9$  Гц. Условие  $\delta_C \sim 50$  мкФ/см<sup>2</sup> определяет нижнюю границу  $\delta_C$  для многих типов 0,5-вольтовых приборов.

### СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ МИКРОКОНДЕНСАТОРОВ

#### Сегнетоэлектрические структуры

Для плоского конденсатора напряжённость электрического поля пробоя  $F_{max}$ , диэлектрическая проницаемость  $k$ ,  $V_{dd}$ ,  $\rho_C$  и  $\delta_C$  связаны соотношением:

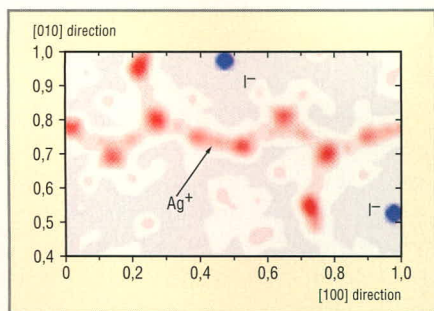
$$V_{dd} = F_{max} (k \epsilon_0 / \rho_C)^{1/2} = F_{max} k \epsilon_0 / \delta_C, \quad (4)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  Ф м<sup>-1</sup>. Поэтому переход к малым  $V_{dd}$  стимулирует разработки конденсаторов с предельно большими значениями  $\rho_C$  ( $\delta_C$ ), определяемыми  $V_{dd}$  и туннельным током утечки («генетический» недостаток конденсаторов традиционных типов с  $d < 2$  нм).

Для субвольтовой электроники перспективны конденсаторы:

- на основе диэлектриков с высокой  $k$  ( $ZrO_2$  и  $HfO_2$ ), характеризующиеся  $\delta_C \approx 2$  мкФ/см<sup>2</sup> при  $d \approx 2$  нм и  $V_{dd} \approx 1$  В [15];
- с тренчевыми структурами (большие аспектные отношения), где эффективная  $\delta_C \approx 3$  мкФ/см<sup>2</sup> при толщине пленки  $SiO_2$  4,5 нм [16] и  $\delta_C > 20$  мкФ/см<sup>2</sup> при формировании в тренчах слоёв диэлектриков с  $k \approx 15 \dots 20$  [17];
- на основе сегнетоэлектрических керамик, например PZT ( $k \approx 900$ ), при этом достигается  $\delta_C \approx 3$  мкФ см<sup>-2</sup> [18].

Для наноионных суперконденсаторов (НСК) на основе ПСИП в ДЭС ( $d$  порядка размера атома)  $F_{max}$  может превышать  $10^7$  В см<sup>-1</sup>, поэтому на гладких электродах  $\delta_C \sim 100$  мкФ см<sup>-2</sup> [11]. В НСК с тренчевыми структурами эффективные значения  $\delta_C \sim 1000$  мкФ см<sup>-2</sup>.



**Рис. 3. Усреднённое по времени распределение плотности ионов  $Ag^+$  в каналах проводимости кристаллической структуры  $RbAg_4I_5$  [30]**

Разработки конденсаторов на основе сегнетоэлектриков ( $k \sim 1000$ ) показывают, что в тонких плёнках величина  $k$  значительно уменьшается. Многослойные сегнетоэлектрические конденсаторы ультраплотного поверхностного монтажа (УППМ) в наименьшем корпусе (01005 EIA) имеют размеры  $0,4 \times 0,2 \times 0,2$  мм и максимальную ёмкость  $0,01$  мкФ при  $V_{dd} = 6,3$  В ( $\rho_C \approx 1$  мкФ мм<sup>-3</sup> и эффективная  $\delta_C \approx 13$  мкФ см<sup>-2</sup>) [19]. Низкочастотная ёмкость эпитаксиальных гетероструктур  $ScRuO_3/SrTiO_3 \approx 26$  мкФ см<sup>-2</sup>, что сильно отличается от номинального значения  $\delta_C = \epsilon_0 k/d = 160$  мкФ см<sup>-2</sup> при  $k = 490$  и  $d = 2,7$  нм [20]. В конденсаторах на основе тонких плёнок ( $5...30$  нм) перовскитов при  $V_{dd} = 0,65...4,0$  В обычно  $\delta_C = 12,5...2,5$  мкФ см<sup>-2</sup> ( $k \sim 70$ ) [21].

Работа при температурах выше  $85^\circ C$  становится обычной для малогабаритных источников. Стандартным требованием является гарантированное функционирование электронного компонента при  $125^\circ C$  в течение 10 лет. Многослойные сегнетоэлектрические конденсаторы функционируют на частотах до  $10^9$  Гц и обеспечивают  $\rho_C \approx 3$  мкФ/мм<sup>3</sup> при размерах  $1,6 \times 0,8 \times 0,6$  мм. Недостатками таких конденсаторов являются уменьшение  $\rho_C$  с увеличением  $F$  и низкая стойкость керамики к повышенным температурам и  $F$  [22].

Таким образом, современные сегнетоэлектрические конденсаторы не отвечают требованиям  $\delta_C - V_{dd}$  масштабирования и не подходят для ряда критических технологий.

**Танталовые миниатюрные конденсаторы**

Высокоёмкие танталовые конденсаторы могут функционировать вплоть до температур  $175^\circ C$ . Рабочее

напряжение  $V_{dd}$  с повышением температуры уменьшается следующим образом:  $6,3$  В ( $85^\circ C$ ),  $4$  В ( $125^\circ C$ ),  $3,2$  В ( $150^\circ C$ ) и  $2,1$  В ( $175^\circ C$ ). Ёмкость конденсаторов уменьшается в интервале  $10^3...10^4$  Гц. При переходе от корпуса 3216 к корпусу 01005  $\rho_C$  должна уменьшиться в  $5...10$  раз (до  $\rho_C \approx 0,17...0,08$  мкФЧмм<sup>-3</sup>), что характерно и для сегнетоэлектрических УППМ-конденсаторов.

**Конденсаторы на основе нанодиэлектриков с  $k \sim 10^7...10^{10}$**

В ряде работ [23, 24] представлены экспериментальные данные для конденсаторов с нанодиэлектриками, которым приписываются гигантские  $k \sim 10^7...10^{10}$  и огромный потенциал в области хранения энергии [24 – 26]. Анализ показывает неправомочность таких ожиданий.

Для плоского конденсатора поверхностная плотность заряда  $\delta_Q$  на атомарно гладких электродах ограничена  $\delta_{Qmax} \sim 1,5 \times 10^{-4}$  Кл см<sup>-2</sup> (заряд ионов одного знака на кристаллографических плоскостях с малыми индексами, концентрация  $n \sim 10^{15}$  см<sup>-3</sup>), поэтому:

$$kF \leq \delta_{Qmax}/\epsilon_0 \approx 1,5 \times 10^9 \text{ В см}^{-1}, \quad (5)$$

где  $F = V/d$ , а  $V$  – напряжение на электродах.

Согласно (5), при  $k \sim 10^7...10^{10}$  максимальное допустимое значение  $F_{max}$  в нанодиэлектрике должно быть мало ( $\sim 10^2...10^{-1}$  В см<sup>-1</sup>) по сравнению с пробивным полем обычных диэлектриков ( $\approx 2 \times 10^6$  В см<sup>-1</sup>). В приближении нулевой толщины электродов максимальная плотность энергии в плоском конденсаторе:

$$\rho_E \sim \epsilon_0 k F_{max}^2 / 2. \quad (6)$$

При  $k F_{max} \approx \delta_{Qmax}/\epsilon_0$  выражение (6) можно переписать в форме:

$$\rho_E < \sim \delta_{Qmax} F_{max} / 2, \quad (7)$$

где  $F_{max} \sim 10^2...10^{-1}$  В см<sup>-1</sup>. Это доказывает необоснованность надежд использования нанодиэлектриков с гигантской восприимчивостью для хранения энергии.

**Суперконденсаторы с жидкими электролитами**

Возможность использования подвижных ионов для хранения заряда и энергии реализуется в приборах с

ДЭС, называемых суперконденсаторами. В случае жидких электролитов на электродах с развитой внутренней поверхностью достигаются  $\rho_C \sim 1000$  мкФ/мм<sup>3</sup> (в пересчёте на площадь внутренней поверхности  $\delta_C \sim 15$  мкФ/см<sup>2</sup> [27]), но частоты функционирования приборов низки, а их конструкции несовместимы с вакуумными технологиями.

Таким образом, рассмотренные выше конденсаторы и накопители традиционных конструкций не способны к эффективному  $\delta_C - V_{dd}$ -масштабированию и достижению  $\rho_C \approx 1$  мкФ/мм<sup>3</sup> при  $V_{dd} \approx 1$  В. Для нанoeлектроники и критических технологий необходимы субвольтовые импульсные накопители с частотами функционирования  $10^5...10^9$  Гц.

**Передовые суперионные проводники (ПСИП) – твёрдые электролиты (ТЭ) и суперконденсаторы на их основе**

Рекордно высокие частотно-ёмкостные характеристики могут быть достигнуты с помощью когерентных ПСИП/ЭП гетеропереходов [28, 29]. ПСИП имеют кристаллическую структуру, близкую к оптимальной для БИТ. В жёсткой ионной подрешётке ПСИП имеются структурные каналы, по которым перемещаются подвижные ионы другого знака. Распределение ионной плотности  $Ag^+$  в каналах проводимости в ПСИП  $RbAg_4I_5$  (300 К) показано на рис. 3 [30]. ПСИП имеют рекордно высокий уровень ион-транспортных характеристик: ионная проводимость  $\sigma_i \approx 0,3$  Ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> ( $RbAg_4I_5$ , 300 К), энергия активации,  $E_i \approx 0,1$  эВ, что определяет температурно-зависимую концентрацию подвижных ионов  $n_i \sim N_i \exp(-E_i/k_B T)$ , способных к движению в каналах проводимости ( $N_i \approx 10^{22}$  см<sup>-3</sup>,  $n_i \sim 2 \times 10^{20}$  см<sup>-3</sup>, 300 К).

Общая классификация твердотельных ионных проводников в координатах ионной и электронной проводимости ( $\sigma_i - \sigma_e$ ) представлена на рис. 4 [10, 28]. Граница области 7-8 определяет верхний предел значений  $\sigma_i$  для гипотетических ПСИП. По определению, эти ионные проводники характеризуются  $E_i \approx k_B T$  (300 К), что должно обеспечить при комнатной температуре  $\sigma_i \sim 2$  Ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> для подвижных ионов  $Ag^+$  и  $\sigma_i \sim 8$  (20) Ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> для легких подвижных ионов  $Li^+$  ( $H^+$ ).

К семейству  $RbAg_4I_5$  принадлежит ряд ПСИП-ТЭ с подвижными ионами  $Cu^+$  или  $Ag^+$ . Некоторые из соединений термодинамически стабильны в области температур вблизи комнатной ( $\alpha-RbAg_4I_5$ ,  $CsAg_4I_{2-x}I_{3+x}$ ,  $RbCu_4Cl_3I_2$  и др.), а большинство – при повышенных температурах (50...120°C).

Суперконденсаторы на основе ПСИП-ТЭ разрабатываются уже в течение нескольких десятилетий (могут иметь повышенную радиационную стойкость 4У), однако  $\delta_C$  их гетеропереходов (с произвольными, не контролируемыми по структуре гетерограницами ПСИП/ЭП), составляют  $10^2...10^1$  мкФ/см<sup>2</sup> на частотах  $10^{-2}...10^3$  Гц. Низкие операционные частоты гетеропереходов ПСИП-электрод, а следовательно, невысокая  $\rho_W$  суперконденсаторов есть следствие нарушения условий для БИТ в молекулярно тонких ДЭС на гетерограницах ПСИП/ЭП. Производство максимальной частоты  $f_{max}$  функционирования гетероперехода ПСИП/ИЭП и  $\delta_C$  является обобщённой емкостно-частотной характеристикой. Для типичных гетеропереходов, например  $RbAg_4I_5/Pt$  [31], указанное произведение  $\delta_C f_{max}$  составляет  $\sim 1...10^4$  Гц мкФ см<sup>-2</sup>. Такого же порядка оказываются произведения  $\delta_C f_{max}$  для гетеропереходов с жидкими электролитами.

В Институте проблем технологии микроэлектроники РАН проводятся исследования и разработки, относящиеся к области наноионики передовых суперионных проводников (ПСИП) – новому научно-техническому направлению [28]. Объектами исследований являются нано- и микроструктуры на основе ПСИП. Гетеропереходы ПСИП/ЭП – ключевые функциональные структуры в приборах с ДЭС. В таких приборах влияние гетерограниц на ионный транспорт является определяющим, поэтому основной подход наноионики ПСИП состоит в сохранении на гетерограницах концентрации и высот потенциальных барьеров для перескоков подвижных ионов (на уровне значений в объеме ПСИП).

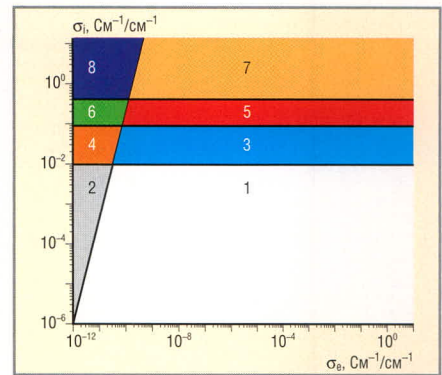
**Создание модельных плёночных накопителей на основе ПСИП**

Для достижения высоких значений  $f_{max}\delta_C$  на гетеропереходах ПСИП/ЭП необходимо:

- формирование атомарно чистого и резкого контакта ПСИП/ЭП;
  - обеспечение минимального разупорядочения структуры в слое ПСИП, прилегающем к ЭП, что реализуется на когерентных границах ПСИП/ЭП;
  - обеспечение определённого сочетания и взаимного расположения элементов симметрии гетерограницы ПСИП/ЭП и элементов симметрии каналов БИТ в структуре ПСИП.
- Для достижения указанных целей применялись методы кристаллохимического дизайна гетерограниц ПСИП/ЭП [28, 29]. Были разработаны и синтезированы гетероструктуры ПСИП/ЭП (прототипы НСК) с  $\delta_C \approx 100$  мкФ см<sup>-2</sup> и  $f_{max} \approx 10^6$  Гц (рекордно высокие значения произведения  $\delta_C f_{max} \sim 10^8$  Гц мкФ см<sup>-2</sup>) [10, 11].

На рис. 5 показаны частотно-емкостные характеристики  $\delta_C = \delta_C(f)$  для типичного гетероперехода ПСИП/ЭП ( $RbAg_4I_5/Pt$  [31]), созданного без учёта выполнения трёх вышеперечисленных условий, и экспериментальной двухэлектродной ячейки на основе ПСИП [10, 11].

Частотно-емкостные характеристики [10, 11] получены путём сравнения осциллограмм «заряд-разряд» для экспериментальной двухэлектродной ячейки и стандартного конденсатора известной ёмкости. П-импульсы внешнего напряжения прикладывались к цепочке, содержащей соединённые последовательно экспериментальную ячейку (или стандарт-



**Рис. 4. Классификация твердотельных ионных проводников в координатах  $\sigma_i - \sigma_e$  [10]**

- 2, 4 и 6 – известные твёрдые электролиты (ТЭ), т.е. материалы с  $\sigma_i \gg \sigma_e$ ;
- 1, 3, и 5 – известные смешанные ионо-электронные проводники;
- 3 и 4 – суперионные проводники (СИП), у которых  $\sigma_i > 0,001$  Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>;
- $\sigma_e$  – произвольное значение;
- 4 – СИП и одновременно ТЭ,  $\sigma_i > 0,001$  Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>,  $\sigma_i \gg \sigma_e$ ;
- 5 и 6 – передовые суперионные проводники (ПСИП); где  $\sigma_i > 10^{-1}$  Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> (300 К),  $E_i \approx 0,1$  эВ,  $\sigma_e$  – произвольное значение;
- 6 – ПСИП и, одновременно, ТЭ,  $\sigma_i > 10^{-1}$  Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>,  $E_i \approx 0,1$  эВ,  $\sigma_i \gg \sigma_e$ ;
- 7 и 8 – гипотетические ПСИП, у которых  $E_i \approx k_B T \approx 0,03$  эВ (300 К);
- 8 – гипотетические ПСИП и одновременно ТЭ

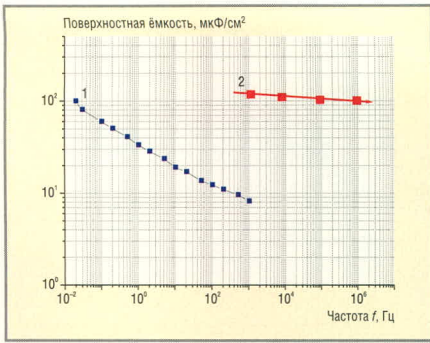
ный конденсатор) и балластный резистор R. Экспериментальная ячейка объёмом  $\approx 0,0036$  мм<sup>3</sup> (компонент УППМ 01005 имеет объём  $\approx 0,016$  мм<sup>3</sup>) имела тонкоплёночные электроды общей площадью  $\approx 0,08$  мм<sup>2</sup> (0,04 +

**Мы переключаем ваше будущее!**

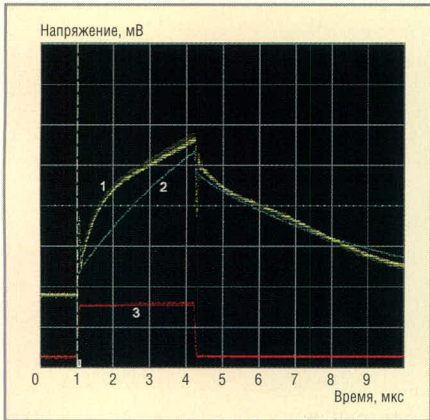
**КОНЦЕВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ**  
**DIP-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ**  
**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ**  
**ТАКТОВЫЕ КНОПКИ**  
**ДВИЖКОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ**

*Diptronics, тайваньский лидер в разработке и производстве переключателей, специализируется в этой области с 1985 г.*

**DIPTRONICS MANUFACTURING INC.**  
 No. 110, Wugong 3rd Road, Wugu Shiang, 24889, Taipei County, Taiwan  
 Tel.: +886 2 2298 9123 <http://www.dip.com.tw> E-mail: [dip@dip.com.tw](mailto:dip@dip.com.tw)



**Рис. 5. Частотно-ёмкостные характеристики** Типичный гетеропереход ПСИП/ЭП (RbAg<sub>4</sub>I<sub>5</sub>/Pt, 20°C, кривая 1) и экспериментальная двухэлектродная ячейка на основе ПСИП (155°C, кривая 2)



**Рис. 6. Временная зависимость напряжения при заряде-разряде экспериментальной ячейки и конденсатора ёмкостью 0,047 мкФ через балластный резистор R = 100 Ом**  
 (1) – ячейка при 155°C,  
 (2) – конденсатор 0,047 мкФ, соединенный последовательно с резистором номиналом 10 Ом (вертикальный масштаб – 100 мВ/дел.);  
 (3) – напряжение от внешнего генератора (вертикальный масштаб 500 мВ/дел.) для случаев (1) и (2)

+ 0,04 мм<sup>2</sup>). Толщина ячейки составляла ≈ 0,03 мм, площадь основания ячейки на кремниевой подложке ≈ 0,12 мм<sup>2</sup>.  
 Изменение напряжения на экспериментальной ячейке (или на стандартном конденсаторе) в процессах «заряд-разряд» показано на рис. 6. Изменение времени заряда (разряда) задавали балластным резистором R.  
 У экспериментальной ячейки эффективное значение  $\delta_C$  составляет ≈ 1 мкФ мм<sup>-2</sup> (100 мкФ см<sup>-2</sup>) на частотах до ≈ 10<sup>6</sup> Гц (см. рис. 6), а плотность мощности  $\rho_W \approx 0,3$  Вт мм<sup>-3</sup> ( $3 \times 10^2$  Вт см<sup>-3</sup>), что в 3 раза больше, чем у массивных суперконденсаторов, которые имеют распределённые углеродные электроды, пропитанные жидким электролитом (объём ~ 1 см<sup>3</sup>,  $V_{dd} \approx 2,5...2,7$  В, операционные частоты не выше 10<sup>3</sup> Гц).

Плотность энергии  $\rho_E$  в ячейке составляет ≈ 10<sup>-4</sup> Дж мм<sup>-3</sup> (10<sup>-1</sup> Дж см<sup>-3</sup>). Это в 36 раз меньше, чем у массивных суперконденсаторов, где произведение  $\rho_W \rho_E \approx 4 \times 10^2$  Дж<sup>2</sup> с<sup>-1</sup> см<sup>-6</sup> (у ячейки произведение  $\rho_W \rho_E$  – величина в 10 раз меньшая). Однако, изменением конструкции можно уменьшить объём ячейки в 10 раз, сохранив на прежнем уровне запасаемую ячейкой энергию и генерируемую мощность. В результате при объёме ≈ 0,0004 мм<sup>-3</sup> произведение  $\rho_W \rho_E$  в 10 раз превысит  $\rho_W \rho_E$  массивных суперконденсаторов.

Эксперименты для ячейки объёмом ≈ 0,0036 мм<sup>-3</sup> показали:  
 ● эффективная плотность ёмкости  $\delta_C$  сравнительно слабо зависит от  $f$  вплоть до частот ≈ 10<sup>6</sup> Гц (см. рис. 5);  
 ● при напряжении на ячейке  $U > 0,2$  В эффективная ёмкость  $\delta_C$  возрастает с увеличением напряжения;  
 ● ячейка может длительно функционировать при температурах 70...170°C;  
 ● на частоте ≈ 10<sup>6</sup> Гц достигаются  $\delta_C \approx 1$  мкФ мм<sup>-2</sup>,  $\rho_C > 10$  мкФ мм<sup>-3</sup>,  $\rho_W \approx 0,3$  Вт мм<sup>-3</sup>,  $\rho_E \approx 10^{-4}$  Дж мм<sup>-3</sup>.  
 Таким образом, показано, что плёночные импульсные накопители на основе ПСИП являются перспективными приборами для 0,5-вольтовой электроники и ряда критических технологий.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В нанoeлектронике с уменьшением технологических норм и напряжения электропитания (до 0,5 В к 2016 – 2020 гг., ITRS-2006) резко возрастёт потребность в высокоёмких конденсаторах микронных размеров (фильтрация помех и низкочастотных 1/f шумов; сглаживание пульсаций, питание импульсных нагрузок при малых допустимых перепадах напряжения (~0,1 В); работа в условиях повышенных температур и проникающих ионизирующих излучений и т.д.).  
 Огромные вложения в исследования и разработки конденсаторов традиционных типов не привели к значительному росту плотности ёмкости, радиационной и температурной стойкости.  
 Выше предложена новая альтернативная концепция широкого использования в субвольтовой цифровой электронике и связанных с ней критических технологиях (беспроводные сети сенсоров и микроботов, микросистемная и космическая техника, высокотемпературная электроника, RFID и др.) импульсных наноионных суперконденсаторов (НСК) на

основе передовых суперионных проводников (ПСИП). По мнению авторов, разработки НСК позволят выйти в области зарождения новых знаний и технологий и способны вызвать кардинальные изменения на рынке передовых наноприборов и наукоёмкой продукции массового спроса.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Grochowski E., Annamaram M. Energy per instruction trends in Intel microprocessors. Technology@Intel Magazine. March 2006.
2. Chau R., Datta S., Majumdar A. Opportunities and challenges of III-V nanoelectronics for future high-speed, low-power logic application. Compound Semiconductor Integrated Circuit Symp., 2005.
3. Isbibashi K. и др. Low-voltage and low-power logic, memory, and analog circuit techniques for SoCs using 90 nm technology and beyond. IEICE Trans. Electron. 2006. V. E89-C.
4. Morita Y. и др. A 0.3-V operating, Vth-variation-tolerant SRAM under DVS environment for memory-rich SoC in 90-nm technology era and beyond. IEICE Trans. Fundamentals 2006. V. E89-A.
5. www.hitachi.com/New/cnews/E/2002/0205/0205.pdf.
6. Javey A. и др. High performance n-type carbon nanotube field-effect transistors with chemically doped contacts. Nano Letters. 2005. V. 5. P. 345–348.
7. Lemme M.C., Ecbtermeyer T.J., Baus M., Kurz H. A graphene field-effect device. IEEE Electron Device Letters. 2007. V. 28.
8. Banno N. и др. Solid-electrolyte nanometer switch. IEICE Trans. Electron. 2006. V. E89-C.
9. Chatterjee S., Pun K.P., Stanic N., Tsiividis Y., Kinget P. Analog Circuit Design Techniques at 0.5 V. Springer, 2007 (готовится к выпуску).
10. Деснопули А.Л., Андреева А.В. Суперконденсаторы для электроники. Современная электроника 2006. №5, №6.
11. Деснопули А.Л., Андреева А.В., Веденев В.В., Аристов В.В., Мальцев П.П. Высокоёмкие конденсаторы для ультраплотного поверхностного монтажа. Нано- и микросистемная техника. 2006. № 3.
12. www.idtechex.com.
13. Chew W., Yeo K. S., Chu S. Effect of technology scaling on the 1/f noise of deep submicron PMOS transistors. Solid-State Electronics. 2004. V. 48.
14. www.dustnetworks.com.
15. Gusev E.P., Narayanan V., Frank M.M. Advanced high-k dielectric stacks with poly Si and metal gates: Recent progress and current challenges. IBM J. Res. Dev. 2006. V. 50. No. 4/5.
16. Black C.T. и др. High-capacity, self-assembled metal-oxide-semiconductor

- decoupling capacitors. IEEE Electron Device Lett. 2004. V. 25.
17. Klootwijk J. и др. Extremely high-density capacitors with ALD high-k dielectric layers. NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry. 2006. V. 220.
  18. www.st.com/stonline/press/news/year2005/t1701d.htm.
  19. Hisaki T. Murata's technology paves way for ultra-small capacitors. AEI May 2004.
  20. Stengel M., Spaldin N.A. Origin of the dielectric dead layer in nanoscale capacitors. Nature 2006. V. 443.
  21. Jo J.Y. и др. Thickness-dependent ferroelectric properties in fully-strained SrRuO<sub>3</sub>/BaTiO<sub>3</sub>/SrRuO<sub>3</sub> ultra-thin capacitors. Thin Solid Films. 2005. V. 486.
  22. Tsubota S. High-capacitance capacitors by Murata make smaller power supplies. AEI December. 2005.
  23. Saba S.K., Chakravorty D. One-dimensional organic giant dielectrics. Appl. Phys. Lett. 2006. V. 89.
  24. Saba S.K., DaSilva M., Hang Q., Sands T., Janes D.B. A nanocapacitor with giant dielectric permittivity. Nanotechnology. 2006. V. 17.
  25. Cao Y., Irwin P.C., Younsi K. The future of nanodielectrics in the electrical power industry. IEEE Trans.on Dielectrics and Electrical Insulation. 2004. V. 11.
  26. Air force STTR 06 T002 topic descriptions. Nanodielectrics for high power capacitors and passive applications. www.acq.osd.mil/osbp/sbir/solicitations/str06/af06.htm.
  27. Cbmiola J. и др. Anomalous increase in carbon capacitance at pore sizes less than 1 nanometer. Science. 2006. V. 313.
  28. Despotuli A.L., Andreeva A.V., Rambabu B. Nanoionics of advanced superionic conductors. Ionics. 2005. V. 11.
  29. Andreeva A.V., Despotuli A.L. Interface design in nanosystems of advanced superionic conductors. Ionics. 2005. V. 11. № 1&2. P. 152–160.
  30. Hull S. Superionics: crystal structures and conduction process. Rep. Prog. Phys. 2004. V. 67.
  31. Карамов Ф.А. Суперионные проводники. Гетероструктуры и элементы функциональной электроники на их основе. М.: Наука. 2002.



## Новости мира News of the World Новости мира

### 3D-микроскоп для видеонаблюдений за живой клеткой

Извечная проблема исследователей микромира – получение достоверных изображений объектов хотя бы на клеточном уровне. Возможность предоставления информации в трёхмерном виде, да ещё и в формате видео, можно назвать пределом таких мечтаний. Похоже, давние чаяния учёных наконец-то сбылись.

Издание Technology Review – онлайн-вестник Массачусетского технологического института (MIT) – сообщает, что группа учёных MIT смогла разработать микроскоп, генерирующий 3D-видеоизображение клеток в реальном времени с очень высокой детализацией. Принцип работы нового 3D-видеомикроскопа схож с технологией создания стереоизображений с помощью компьютерного томографического сканера, работающего в рентгеновском диапазоне волн.

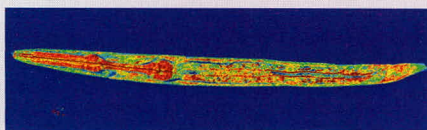
Извечная проблема изучения свойств клеток заключается в том, что клетки не могут поглощать видимый свет в количествах, достаточных для использования традиционных микроскопов. Разработчики из MIT пошли другим путём и использовали для создания нового 3D-микроскопа другое оптическое свойство клеток: рефракцию, т.е. способность клеток преломлять свет. Проходя через клетку, свет меняет своё направление и длину волны, при этом разные части клетки делают это по-разному, благодаря чему 3D-микроскоп из MIT способен показывать компоненты клетки с высокой детализацией.

По словам профессора физики Майкла Фелда (Michael Feld), руководителя команды разработчиков из MIT, попытки создать трёхмерное изображение клетки тра-

диционными оптическими способами являются ничем иным, как наблюдением за «управляемыми артефактами». Использование классических микроскопов приводит лишь к возможности наблюдения за фиксированными пятнами красящих реагентов; наблюдения за такими объектами совершенно не передают суть строения клетки. В то время как «наша технология позволит вам изучать клетки в их естественном состоянии без каких-либо дополнительных приготовлений. К примеру, вы имеете возможность наблюдать за хромосомами в процессе деления клетки или процессом ослабления раковой клетки при воздействии на неё уксусной кислотой».

Процесс создания трёхмерного изображения осуществляется методом комбинации множества снимков, сделанных под разными углами. В нынешней установке на генерацию одного трёхмерного снимка уходит порядка 0,1 с, что вполне достаточно для наблюдений за жизнью клетки в реальном времени.

Интересно отметить, что команда профессора Фельда в содружестве с учёными из Гарвардской медицинской школы (Harvard Medical School в составе Гарвардского университета) уже опробовали новое устройство на практике, при этом учёные могли визуально контролировать реакцию канцерогенного вируса бородавки человека (cervical cancer) на воздействие уксусной кислотой. По словам учёных, они и раньше знали, что это «работает», только не представляли реального прин-



ципа такого воздействия. Наиболее интересными областями применения таких микроскопов станут как изучение поведения живых клеток, так и «живые» испытания новых лекарственных препаратов.

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

### Первый дисплей Samsung с поддержкой Displayport

Компания Samsung сообщила об успешном завершении разработки своего первого цветного жидкокристаллического дисплея, оснащённого интерфейсом Displayport – конкурента стандартам HDMI, DVI и UDI. Новая модель, начало массового производства которой намечено на второй квартал 2008 г., будет иметь 30" по диагонали, разрешение 2560 × 1600, количество отображаемых цветов – до 1,07 млрд. Прототип использует последовательный интерфейс с четырьмя линиями для передачи, по 2,7 Гбит/с на каждую, что обеспечивает суммарную пропускную способность в 10,8 Гбит/с.

В настоящее время в отрасли продолжают горячие дискуссии о том, какой же именно интерфейс – DVI, HDMI, UDI или Displayport – «выживет» в качестве преобладающего стандарта цифровых дисплеев с высоким разрешением. Первая версия спецификации Displayport была одобрена в мае 2006 г., она представляет собой не требующую лицензирования разработку для подключения главным образом компьютеров и мониторов, но подходит также для соединения компьютеров и домашних кинотеатров. К числу компаний, поддерживающих сейчас Displayport, относятся AMD, Intel, Dell, Hewlett-Packard, Lenovo, Nvidia, Philips и Samsung.

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

# ИКСЛАЙТ XLight

Революция уже началась!

5 лет  
ГАРАНТИЯ

## ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ И ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

на базе светодиодных  
ламп CREE®

“Кутузовская  
ривьера”

г. Москва, ул. Нежинская

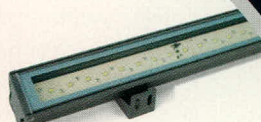


“Газпром”

г. Москва, ул. Намёткина



RGB прожекторы для  
архитектурного освещения



Линейные светильники  
архитектурного освещения

Фонари для уличного  
и паркового освещения

Светильники  
для пешеходных переходов



“LEDcity”

США, Роли,  
Северная Каролина



Пешеходный  
переход



Полупроводниковая  
светотехника XLight™

- Гарантия 5 лет
- Реальная экономия электроэнергии
- Окупаемость вложений в течение 2 лет
- Гибкие системы управления освещением

ПРОСОФТ — ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ XLIGHT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

**PROSOFT**®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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

## Решения XLight™ для общего освещения

### ● РЕАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Светотехнические изделия XLight на базе полупроводниковых ламп Cree Xlamp позволяют добиться значительной экономии электроэнергии за счёт высокого уровня светоотдачи при низкой потребляемой мощности.

Полупроводниковые лампы Xlamp XR-E7090 компании Cree – мирового лидера в производстве полупроводниковых кристаллов из карбида кремния (SiC) и приборов на их основе – обеспечивают светоотдачу не менее 100 Лм/Вт при токе 350 мА.

Экономические расчёты, проведенные в США, показывают, что за счёт перехода на светодиодные источники света ежегодная экономия составит 167 млрд. кВт/ч. электроэнергии, или \$11,8 млрд. денег потребителей. При этом совокупная экономия составит к 2025 году \$86,9 млрд., а сэкономленная мощность — 17,2 ГВт, что эквивалентно 29 новым электростанциям по 600 МВт.

Расчёты, проведённые по заказу муниципалитета г. Роли, США, показали, что экономия электроэнергии после реализации проекта по переходу города на полупроводниковое освещение с использованием светодиодов Cree, включая уличное освещение, освещение подземных гаражей, пешеходных переходов, парков, архитектурной и акцентной подсветки, составит около 40%.

### ● ГАРАНТИЯ 5 ЛЕТ

На продукцию XLight действует гарантия 5 лет, подтверждающая высокий уровень качества и надёжность светотехнических решений. Продукция XLight проходит 100% выходной контроль основных параметров, в электронных модулях используется современная электронная база. На производстве применяется система менеджмента качества, сертифицированная по стандарту ISO 9001.

### ● ОКУПАЕМОСТЬ ВЛОЖЕНИЙ В ТЕЧЕНИЕ 2 ЛЕТ

При замене традиционных светильников светодиодными лампами окупаемость происходит за счёт экономии электроэнергии и снижения эксплуатационных расходов. Благодаря малым габаритам и площади, занимаемой на печатной плате, светодиодные лампы позволяют создавать компактные кластеры, позволяющие создавать светильники разнообразных форм, получая значительный выигрыш при серийном и массовом производстве.

Срок службы светодиодов достигает 50 – 100 тыс. часов, что значительно превосходит аналогичные показатели традиционных источников света: срок службы ламп накаливания составляет 1 тыс. часов, люминесцентных ламп – 12 – 18 тыс. часов. Рабочий температурный диапазон эксплуатации полупроводниковых источников света от –60 до +85°C.

### ● ГИБКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Системы интеллектуального управления полупроводниковыми источниками света позволяют не только создавать различные динамические световые эффекты, но и в случае систем общего освещения изменять уровень потребления электроэнергии в зависимости от окружающей обстановки.

# LCD-панели широкого применения от LG.Philips LCD

Игорь Безверхний (г. Киев, Украина)

В статье представлен краткий обзор одной группы TFT LCD-панелей, выпускаемых фирмой LG.Philips LCD для игрушек, медицинских и измерительных приборов, сотовых телефонов, коммуникаторов и другой электронной техники, а также приведён минимум теоретических сведений, необходимых для понимания работы рассматриваемых TFT LCD-панелей.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в различной аппаратуре как промышленного, так и бытового назначения всё чаще устанавливаются цветные графические жидкокристаллические панели (дисплеи). Их можно встретить в сотовых телефонах, фотоаппаратах, видеокамерах, автомобилях, других транспортных средствах, различной бытовой и офисной технике, промышленных установках и даже в детских игрушках. Производство телевизоров, в которых вместо привычного кинескопа используется жидкокристаллическая панель, также стало массовым.

LCD-панель (Liquid Crystal Display) представляет собой матрицу, которая содержит определённое количество элементов изображения – пикселей. Каждый пиксел цветной панели состоит из трёх субпикселей: красного (R), зелёного (G) и синего (B). Структуры матриц различных цветных LCD-панелей показаны на рис. 1.

Следует отметить, что субпиксели LCD-панели не излучают свет самостоятельно, а только меняют прозрачность. Поэтому LCD-панели требуют

подсветки, для которой чаще всего используются люминесцентные лампы с холодными катодами (CCFL – Cold Cathode Fluorescent Lamp). В каждом субпикселе поляризованным световым потоком управляет напряжение, приложенное к жидкому кристаллу. Это напряжение изменяет угол поворота вектора поляризации жидкого кристалла и, как следствие, поворачивает плоскость поляризации и изменяет коэффициент пропускания светового потока субпикселем.

TFT LCD – это жидкокристаллический дисплей с управляющей матрицей на тонкоплёночных полевых транзисторах (TFT – Thin Film Transistor). Особенностью такой панели является то, что каждым субпикселем управляет полевой транзистор (TFT), встроенный в ячейку этого субпикселя.

TFT LCD-панели – довольно сложные технологические устройства. Это, видимо, послужило одной из причин того, что фирмы Philips и LG решили объединить свои возможности для их производства и создали совместное предприятие LG.Philips LCD [6].

Свою продукцию эта фирма делит на четыре группы:

- для телевизоров;
- для мониторов;
- для ноутбуков;
- для приложений.

TFT LCD-панели последней группы предназначены для применения в разного рода игрушках, медицинских и измерительных приборах, в сотовых телефонах, коммуникаторах, навигационных приборах судов, самолётов, автомобилей, а также в других устройствах, где малые габариты, особенно толщина панелей, должны сочетаться с достаточно высоким разрешением и незначительным ухудшением качества работы при увеличении освещённости, например, при ярком солнечном свете.

О некоторых особенностях конструкции, принципах работы, маркировке, интерфейсах и параметрах панелей LCD TFT от LG.Philips LCD последней группы (для приложений) и пойдёт речь ниже.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ TFT LCD-ПАНЕЛЕЙ

Конструктивно TFT LCD-панель представляет собой «бутерброд» из двух прозрачных параллельных пластин – подложек, между которыми находится жидкокристаллическое вещество (см. рис. 2).

На одной из этих прозрачных пластин находится светофильтр и прозрачный общий электрод (противоэлектрод), а на другой – матрица из полевых транзисторов TFT (см. рис. 3), прозрачные контактные электроды и запоминающие конденсаторы. В каждом таком конденсаторе одной обкладкой является контактная площадка субпикселя, а другой обкладкой – строчный электрод соседнего субпикселя. Кроме того, с внешних сторон прозрачных пластин на пути прохождения света находятся поляризаторы, плоскости поляризации которых развёрнуты на 90°. Подробнее эту конструкцию можно рассмотреть на рис. 4.

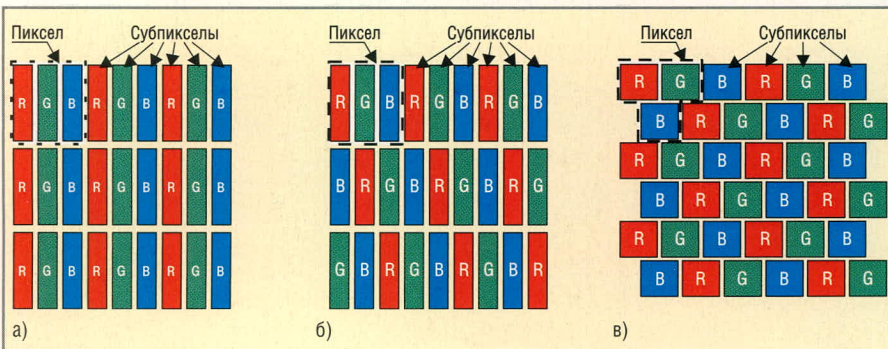


Рис. 1. Структуры матриц TFT LCD-панелей

(а) Полосковая (штриховая) структура; (б) мозаичная структура; (в) дельта-структура

Когда полевой транзистор заперт, молекулы жидких кристаллов, расположенные вблизи верхней и нижней прозрачных пластин, ориентированы перпендикулярно друг к другу. Подобная ориентация граничных молекул жидких кристаллов задаётся принудительно за счёт создания на пластинах так называемых ориентационных покрытий из поверхностно-активных веществ. Все молекулы жидкого кристалла, находящиеся между граничными молекулами, занимают «переходные» положения, как показано на правой части рисунка 4. Полученная таким образом цепочка из молекул жидких кристаллов как бы «скручена» в спираль. Поэтому её называют «скрученный нематический кристалл» (twisted nematic crystal). При этом поляризованный свет, предварительно прошедший через поляризационный фильтр, попадая на одну сторону ЖК-панели и проходя сквозь слой ЖК-вещества, меняет плоскость своей поляризации и свободно проходит сквозь второй поляризационный фильтр с другой стороны ЖК-матрицы. Субпиксел максимально прозрачен. Если TFT-транзистор откроется, то к этой цепочке молекул жидких кристаллов будет приложено некое напряжение, которое уменьшит «закрученность» спирали из молекул. Это в свою очередь уменьшит прозрачность субпиксела. В идеале при достижении TFT-транзистором режима насыщения субпиксел становится чёрным (непрозрачным). Технологически можно сделать так, что субпиксел будет максимально прозрачен при открытом TFT-транзисторе и не прозрачен

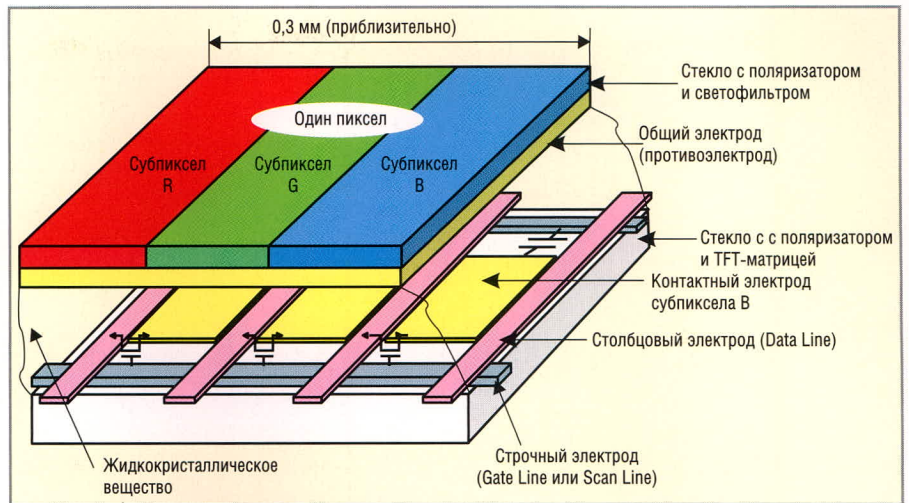


Рис. 2. Особенности строения TFT LCD-панелей (один пиксел)

в случае, если транзистор заперт. Это зависит от взаимной ориентации поляризационных фильтров и кристаллов ЖК-материала. Для получения дополнительной информации следует обратиться к статьям [1 – 4].

### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УЗЛА УПРАВЛЕНИЯ TFT LCD-ПАНЕЛЕЙ

TFT LCD-панель можно считать аналоговым устройством отображения информации с цифровой адресацией и доставкой аналогового сигнала к каждому субпикселу. Для оптимального решения этой задачи в состав TFT LCD-панели входит узел управления, упрощённая функциональная схема которого, без цепей питания и подсветки, показана на рис. 5.

Оцифрованные сигналы RGB подаются на TFT LCD-панель, где поступают на контроллер развёртки (TCON – Timing Controller). О форматах этих

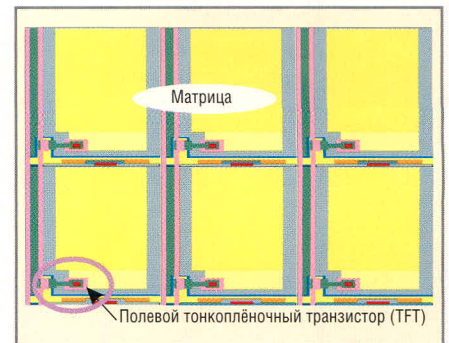


Рис. 3. Фрагмент TFT-матрицы

сигналов будет рассказано ниже. TCON обычно задаёт все временные интервалы работы узлов панели. Этот контроллер формирует сигналы управления драйверами строк, а также переформатирует данные и производит их трассировку на драйверы столбцов. Драйверы строк (Row Driver Circuit) обеспечивают формирование отпирающих импульсов и подачу их на затворы полевых ключей

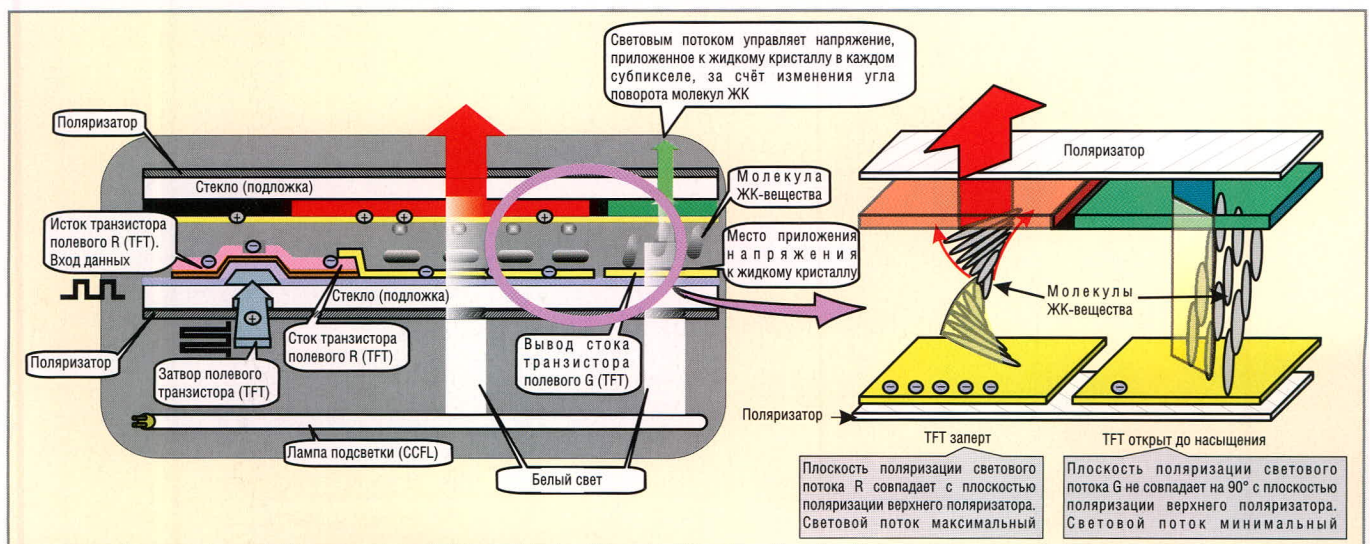


Рис. 4. Особенности устройства и основные принципы работы TFT LCD-панелей

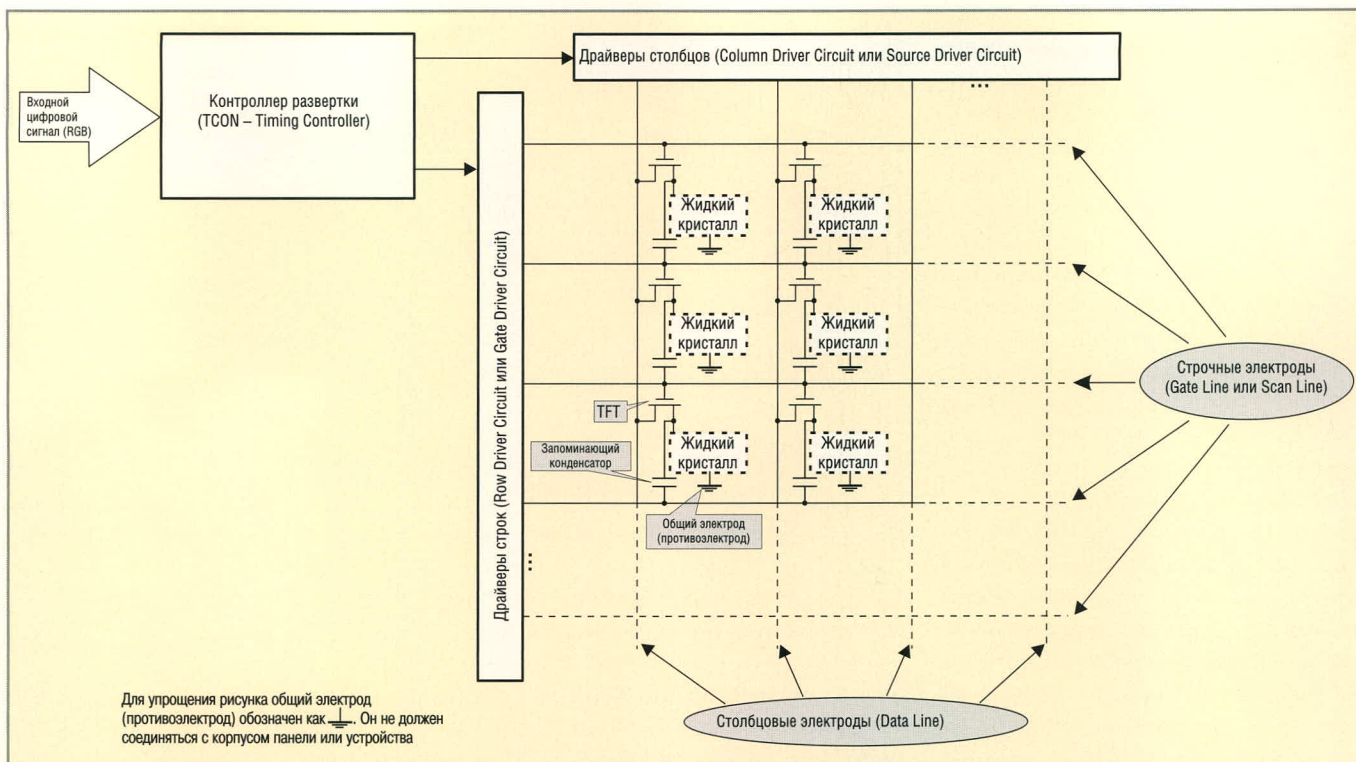


Рис. 5. Упрощённая функциональная схема узла управления TFT LCD-панели (без цепей питания и подсветки)

на TFT, которые сгруппированы в строки (см. рис. 5). Поэтому эти драйверы могут называться драйверами затворов (Gate Driver Circuit) тонкоплёночных транзисторов (TFT).

Драйверы столбцов (Column Driver Circuit) используются для поочередной подачи на истоки тонкоплёночных транзисторов сигналов, несущих информацию о яркости субпикселей, которые сгруппированы в столбцы (см. рис. 5). Эти аналоговые сигналы

получены из цифровых сигналов RGB с помощью ЦАП, которые входят в состав драйверов столбцов. Эти драйверы называют также драйверами истоков (Source Driver Circuit). Каждая из микросхем строчных и столбцовых драйверов имеет несколько сотен выводов с очень мелким шагом. Поэтому такие микросхемы размещают прямо на стекле (технология CoG – Chip on Glass) или на плоских соединительных кабелях. В последнем случае кабель (шлейф) и микросхему драйвера изготавливают как единое целое. Такие совмещённые конструкции (плоский кабель – корпус драйвера) называют TCP (Tape Carrier Package).

За рамками данной статьи остался ряд вопросов. В частности – гамма-коррекция и периодическая коммутация напряжения, приложенного к жидкому кристаллу между контактной площадкой ЖК (стоком TFT) и общим электродом. Всё это достаточно подробно объяснено в статьях [1...3].

### МАРКИРОВКА TFT LCD-ПАНЕЛЕЙ LG.PHILIPS LCD

Маркировка TFT LCD-панелей состоит из четырёх элементов. В качестве примера рассмотрим обозначение LB040Q02.

Первый элемент этого обозначения, состоящий из двух букв (LB), определяет главную область приме-

нения TFT LCD-панелей. Сокращение LC показывает, что данная жидкокристаллическая панель предназначена для телевизоров, LM – для мониторов, LP – для ноутбуков, LB – для прочих применений (автомобили, самолеты, медицинская аппаратура, измерительная техника и т.п.).

Второй элемент – трёхзначное десятичное число 040 – это размер панели по диагонали в десятых долях дюйма. То есть 040 – это 4", соответственно 064 – это 6,4", а 104 – 10,4". Следующий элемент – буква (одна или две), которые обозначают разрешение панели. Буква Q – это сокращение от QVGA (разрешение 320 × 240 точек). Буква V соответствует VGA (640 × 480 точек), а X – XGA (1280 × 768 точек). Буква W обозначает, что панель широкоформатная. Все расшифровки этого элемента подробно представлены в таблице 1.

Следует заметить, что в иностранной технической документации разрешение может записываться в несколько непривычной форме. Например, для VGA: 640 RGB 480, где RGB означает, что данная панель цветная и каждый пиксел состоит из трёх субпикселей R, G и B.

Наконец, последний элемент (две цифры) – это технологический номер разработки.

На ярлыке, который размещён сзади каждой панели, можно найти штрих-

Таблица 1. Обозначение разрешения в маркировке типа TFT LCD-панелей LG.Philips LCD

| Сокращение | Обозначение    | Разрешение, точек |
|------------|----------------|-------------------|
| V          | VGA            | 640 × 480         |
| Q          | QVGA           | 320 × 240         |
| S          | SVGA           | 800 × 600         |
| X          | XGA            | 1024 × 768        |
| E          | SXGA           | 1280 × 1024       |
|            | SXGA+          | 1400 × 1050       |
| U          | UXGA           | 1600 × 1200       |
| WV         | WVGA           | 800 × 480         |
| W          | WQVGA          | 400 × 234         |
|            | WXGA (15:9)    | 1280 × 768        |
|            | WXGA (16:9)    | 1366 × 768        |
|            | WXGA+ (16:10)  | 1440 × 900        |
|            | WSXGA+ (16:10) | 1680 × 1050       |
|            | Full FD (16:9) | 1920 × 1080       |
|            | WUXGA (16:10)  | 1920 × 1200       |
|            | WQXGA+ (16:10) | 2560 × 1600       |

код – маркировку партии (Lot Mark). Под штрих-кодом дана его цифро-буквенная расшифровка. В качестве примера проанализируем надпись под штрих-кодом: 0643APUZ01027. Эти 13 символов для удобства заменим буквами: A B C D E F G H I J K L M.

Распишем этот код:

- первые три знака A B C – это размер панели по диагонали (см. выше);
- D – год изготовления (см. табл. 2);
- E – месяц изготовления (см. табл. 3);
- F G – код панели;
- H – код сборки;
- I J K L M – серийный (заводской) номер.

До 99999 серийный (заводской) номер маркируется обычным образом (00001...99999), а начиная с 100000, две первые цифры (старшие разряды) заменяются одной буквой латинского алфавита от A до Z. Так, 100000 обозначается как A0000, а 110000 – как B0000.

Вернёмся к приведённому выше примеру. Код 0643APUZ01027 обозначает, что LCD-панель имеет диагональ 6,4 дюйма, выпущена в октябре 2003 г., PU – код панели, Z – код сборки, 01027 – серийный (заводской) номер панели.

### Особенности TFT LCD-панелей от LG.Philips LCD для широкого применения

Фирма LG.Philips LCD выпускает более 500 наименований TFT LCD-панелей с диагональю экрана от 1,8 до 55 дюймов. Практически все они имеют заднюю подсветку с помощью

Таблица 2. Маркировка года изготовления (элемент D)

| Год  | Код |
|------|-----|
| 1997 | 7   |
| 1998 | 8   |
| 1999 | 9   |
| 2000 | 0   |
| 2001 | 1   |
| 2002 | 2   |
| 2003 | 3   |
| 2004 | 4   |
| 2005 | 5   |
| 2006 | 6   |
| 2007 | 7   |
| 2008 | 8   |
| 2009 | 9   |

люминесцентных ламп с холодными катодами. Количество ламп в разных панелях может меняться от одной до двенадцати.

Рассмотреть весь спектр продукции от LG.Philips LCD не представляется возможным. Поэтому остановимся на нескольких панелях широкого применения, наименования которых начинаются с букв LB. Основные характеристики и параметры наиболее распространённых TFT LCD-панелей этой группы приведены в таблице 4.

### Интерфейсы TFT LCD-панелей

Существует ряд различных цифровых и аналоговых интерфейсов, через которые на TFT LCD-панели по-

Таблица 3. Маркировка месяца изготовления (элемент E)

| Месяц    | Код |
|----------|-----|
| Январь   | 1   |
| Февраль  | 2   |
| Март     | 3   |
| Апрель   | 4   |
| Май      | 5   |
| Июнь     | 6   |
| Июль     | 7   |
| Август   | 8   |
| Сентябрь | 9   |
| Октябрь  | A   |
| Ноябрь   | B   |
| Декабрь  | C   |

ступают входные сигналы и питающие напряжения. Для рассматриваемой группы TFT LCD-панелей используются, как правило, два интерфейса: так называемый цифровой (параллельный TTL-интерфейс) и аналоговый.

Параллельный TTL-интерфейс для 262 144 оттенков цвета должен иметь 18 линий данных – по 6 линий (разрядов) на каждый оцифрованный сигнал цвета (R, G и B). В качестве интерфейсного разъёма в этой панели используется разъём CN1 типа F100-S40B-C25. Он имеет 40 выводов, назначение которых приведено в таблице 5.

Этот интерфейс содержит также линии тактовых импульсов (CLK), строчных (Hsync) и кадровых им-

Таблица 4. Параметры и характеристики наиболее распространённых TFT LCD-панелей широкого применения (группа LB) от LG.Philips LCD

| Тип панели | Диагональ | Разрешение      | Количество оттенков цвета | Яркость, кд/м² | Контрастность | Угол обзора Н/В, град. | Интерфейс                     | Внешние размеры, мм | Толщина, мм | Активная область экрана, мм | Рабочая температура, °С | Температура хранения, °С |
|------------|-----------|-----------------|---------------------------|----------------|---------------|------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| LB040Q02   | 4,0"      | 320 × 240 QVGA  | 262144 (6 бит)            | 230            | 400 : 1       | 90/120                 | TTL                           | 98,4 × 78           | 10,4        | 81,6 × 61,2                 | -30...85                | -40...85                 |
| LB064V02   | 6,4"      | 640 × 480 VGA   | 262144 (6 бит)            | 230            | 300 : 1       | 90/120                 | TTL                           | 145 × 111,5         | 6,7         | 130,56 × 97,92              | 0...50                  | -20...60                 |
| LB065W01   | 6,5" Wide | 400 × 234 WQVGA | Full Colors               | 450            | 400 : 1       | 115/130                | Аналоговый                    | 157,2 × 89,7        | 8,0         | 143,4 × 79,3                | -30...85                | -40...85                 |
| LB065WQ2-A |           | 400 × 234 WQVGA | Full Colors               | 400            | 400 : 1       | 115/130                | Аналоговый                    | 155,5 × 89,8        | 6,0         | 143,4 × 79,3                | -10...60                | -20...70                 |
| LB065WQ2-B |           | 400 × 234 WQVGA | Full Colors               | 500            | 500 : 1       | 115/130                | Аналоговый                    | 155,5 × 89,8        | 8,5         | 143,4 × 79,3                | -30...85                | -40...85                 |
| LB070W02   | 7" Wide   | 400 × 234 WQVGA | Full Colors               | 400            | 400 : 1       | 90/120                 | Аналоговый                    | 166,0 × 100,0       | 7,0         | 154,1 × 86,6                | -30...85                | -40...85                 |
| LB070WV1   |           | 800 × 480 WVGA  | 262144 (6 бит)            | 600            | 500 : 1       | 120/140                | TTL                           | 170,0 × 109,6       | 10,5        | 152,4 × 81,4                | -30...85                | -40...85                 |
| LB080WV3   | 8" Wide   | 800 × 480 WVGA  | 262144 (6 бит)            | 400            | 400 : 1       | 90/120                 | TTL                           | 198,0 × 117,0       | 10,3        | 176,6 × 99,4                | -10...60                | -20...70                 |
| LB080WV4   |           | 800 × 480 WVGA  | 262144 (6 бит)            | 500            | 400 : 1       | 90/120                 | TTL / аналоговый/ композитный | 199,0 × 121,0       | 16,5        | 176,6 × 99,4                | -30...70                | -40...85                 |
| LB104V03   | 10,4"     | 640 × 480 VGA   | 262144 (6 бит)            | 400            | 300 : 1       | 50/90                  | TTL                           | 246,5 × 179,4       | 8,0         | 211,2 × 158,4               |                         |                          |
| LB121S1    | 12,1"     | 800 × 600 SVGA  | 262144 (6 бит)            | 300            | 200 : 1       | 90/120                 | TTL                           | 280,0 × 218,0       | 12          | 246,6 × 184,5               | 0...50                  | -20...60                 |
| LB121S02   | 12,1"     | 800 × 600 SVGA  | 262144 (6 бит)            | 300            | 200 : 1       | 90/120                 | TTL                           | 280,0 × 218,0       | 12          | 246,6 × 184,5               |                         |                          |

Таблица 5. Назначение выводов разъёма TTL-интерфейса CN1 типа F100-S40B-C25 TFT LCD-панели LB040Q02

| №  | Обозначение | Назначение   |
|----|-------------|--|
| 1  | GND         | Корпус   |
| 2  | CLK         | Тактовые импульсы  |
| 3  | GND         | Корпус   |
| 4  |             |  |
| 5  | R0          | Сигнал красного (младший разряд)   |
| 6  | R1          | Сигнал красного  |
| 7  | R2          |  |
| 8  | R3          |  |
| 9  | R4          |  |
| 10 | R5          |  |
| 11 | GND         | Корпус   |
| 12 |             |  |
| 13 | G0          | Сигнал зеленого (младший разряд)   |
| 14 | G1          | Сигнал зелёного  |
| 15 | G2          |  |
| 16 | G3          |  |
| 17 | G4          |  |
| 18 | G5          | Сигнал зелёного (старший разряд)   |
| 19 | GND         | Корпус   |
| 20 |             |  |
| 21 | B0          | Сигнал синего (младший разряд)   |
| 22 | B1          | Сигнал синего  |
| 23 | B2          |  |
| 24 | B3          |  |
| 25 | B4          |  |
| 26 | B5          | Сигнал синего (старший разряд)   |
| 27 | GND         | Корпус   |
| 28 |             |  |
| 29 | HSYNC       | Положительные строчные импульсы  |
| 30 | DE          | Вход сигнала разрешения  |
| 31 | VSYNC       | Положительные кадровые импульсы  |
| 32 | GND         | Корпус   |
| 33 |             |  |
| 34 | NC          | Свободный  |
| 35 | HVR         | Реверс изображения по горизонтали и вертикали (активный уровень высокий) |
| 36 | GND         | Корпус   |
| 37 | VCC         | Напряжение питания +3,3 В  |
| 38 |             |  |
| 39 |             |  |
| 40 | TC          | Выход датчика температуры  |

Таблица 6. Цифровые данные на RGB-входах TTL-интерфейса панели LB040Q02 фирмы LG.Philips LCD

| Цвет          |              | Цифровые данные на RGB-входах панели |     |     |     |     |     |                        |     |     |     |     |     |                      |     |     |     |     |    |
|---------------|--------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|-----|-----|-----|-----|----|
|               |              | цифровой вход красного               |     |     |     |     |     | цифровой вход зелёного |     |     |     |     |     | цифровой вход синего |     |     |     |     |    |
|               |              | R5                                   | R4  | R3  | R2  | R1  | R0  | G5                     | G4  | G3  | G2  | G1  | G0  | B5                   | B4  | B3  | B2  | B1  | B0 |
| Базовые цвета | Чёрный       | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  |
|               | Красный (63) | 1                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  |
|               | Зелёный (63) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Синий (63)   | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 1   |    |
|               | Голубой      | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 1   |    |
|               | Пурпурный    | 1                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 1   |    |
|               | Жёлтый       | 1                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Белый        | 1                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 1   |    |
| Красный       | Красный (00) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Красный (01) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | ...          | ...                                  | ... | ... | ... | ... | ... | ...                    | ... | ... | ... | ... | ... | ...                  | ... | ... | ... | ... |    |
|               | Красный (62) | 1                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
| Зелёный       | Красный (63) | 1                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Зелёный (00) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Зелёный (01) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | ...          | ...                                  | ... | ... | ... | ... | ... | ...                    | ... | ... | ... | ... | ... | ...                  | ... | ... | ... | ... |    |
|               | Зелёный (62) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
| Синий         | Зелёный (63) | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Синий (00)   | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0   |    |
|               | Синий (01)   | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                    | 0   | 0   | 0   | 1   |    |
|               | ...          | ...                                  | ... | ... | ... | ... | ... | ...                    | ... | ... | ... | ... | ... | ...                  | ... | ... | ... | ... |    |
|               | Синий (62)   | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 0   |    |
| Синий         | Синий (63)   | 0                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 1   |    |

пульсов (Vsync), а также линии питания и общий провод. Именно такой интерфейс используется в TFT LCD-панели LB040Q02.

Кроме того, с вывода 30 разъёма этого интерфейса на LCD-панель приходит сигнал разрешения DE, а с вывода 35 – команда поворота изображения по горизонтали и вертикали. Через вывод 40 разъёма CN1 на внешний процессор подаётся сигнал с датчика температуры, который расположен внутри панели. Этот сигнал может использоваться для коррекции управляющих напряжений и тепловой защиты.

Заметим, что в других схожих TFT LCD-панелях в TTL-интерфейсе возможно использование других разъемов, на которые могут поступать несколько иные вспомогательные сигналы и напряжения питания. И ещё, в TFT LCD-панелях для телевизоров и мониторов, имеющих 16,7 млн. оттенков цвета, параллельный TTL-интерфейс состоит из трёх восьмиразрядных портов для оциф-

рованных RGB-сигналов. То есть только для сигналов основных цветов используется 24 контакта интерфейсного разъёма, так как каждый из RGB-сигналов имеет не 6 разрядов, а 8.

Соответствие между цифровыми данными на RGB-входах TTL-интерфейса панели LB040Q02 и цветом можно проследить по таблице 6. Цифры в скобках показывают число градаций (уровней) яркости. Всего этих уровней 64 (от 0 до 63).

Одной из особенностей параллельного TTL-интерфейса является большое количество проводов в жгуте, которым TFT LCD-панель подключается к устройству. Поэтому в ряде TFT LCD-панелей небольших размеров находят широкое применение специализированные аналоговые интерфейсы, один из которых используется в широкоформатной (16 : 9) панели LB065W01 с диагональю экрана 6,5 дюйма (см. табл. 7).

Основными сигналами этого интерфейса являются аналоговые сиг-

**Таблица 7. Назначение выводов разъёма CN1 типа SFV32R-1ST или GF053-32S-LSS интерфейса TFT LCD-панели LB065W01**

| №  | Обозначение | Назначение  |
|----|-------------|---|
| 1  | VGH         | Напряжение питания для драйвера строк (высокий уровень) 13 В                    |
| 2  | OPEN        | Свободный   |
| 3  | CS          | Сигнал управления общим электродом (противозлектродом)                          |
| 4  | MODE2       | Управляющий сигнал для драйвера строк   |
| 5  | MODE1       | Управляющий сигнал для драйвера строк   |
| 6  | Up/Down     | Управляющий сигнал для драйвера строк   |
| 7  | GSP         | Стартовый (запускающий) сигнал для драйвера строк                               |
| 8  | GSC         | Тактовый сигнал для драйвера строк  |
| 9  | VCC         | Напряжение питания для логической схемы драйвера строк (низкий уровень) -10,9 В |
| 10 | OPEN        | Свободный   |
| 11 |             |   |
| 12 | VSS         | Напряжение питания для драйвера строк (низкий уровень) -16 В                    |
| 13 | OPEN        | Свободный   |
| 14 |             |   |
| 15 | VGL         | Вход напряжения выключения строк  |
| 16 | VCOM        | Сигнал управления общим электродом  |
| 17 | GND         | Корпус  |
| 18 | SSC         | Тактовый сигнал для драйвера столбцов   |
| 19 | SSP_L       | Стартовый (запускающий) сигнал для драйвера столбцов                            |
| 20 | SOE         | Управляющий сигнал для драйвера столбцов  |
| 21 | TST         | Hi=VSH  |
| 22 | Left/Right  | Управляющий сигнал для драйвера столбцов  |
| 23 | SSP_R       | Стартовый (запускающий) сигнал для драйвера столбцов                            |
| 24 | SAM         | Управляющий сигнал для драйвера столбцов  |
| 25 | VA(B)       | Сигнал синего (B)   |
| 26 | VB(G)       | Сигнал зелёного (G)   |
| 27 | VC(R)       | Сигнал красного (R)   |
| 28 | GND         | Корпус  |
| 29 | VSHA1       | Напряжение питания для драйвера столбцов (высокий уровень) 5 В                  |
| 30 | VSHA2       |   |
| 31 | VSHL2       |   |
| 32 | VSHL1       |   |

**Таблица 8. Управление реверсом (переворотом) изображения по горизонтали и по вертикали**

| Режим                                 | Лог. уровень на выводах CN1 |             |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|
|                                       | 22 (Left/Right)             | 6 (Up/Down) |
| Нормальный режим                      | 1                           | 0           |
| Реверс по горизонтали (слева направо) | 0                           | 0           |
| Реверс по вертикали (сверху вниз)     | 1                           | 1           |
| Реверс по горизонтали и по вертикали  | 0                           | 1           |

**Таблица 9. Управление режимом вывода информации**

| Режим вывода информации                    | Лог. уровень на выводах CN1 |           |
|--|-----------------------------|-----------|
|  | 5 (MODE1)                   | 4 (MODE2) |
| Обычный режим (вычерчивается одна строка)  | 1                           | 1         |
| Не используется                            | 0                           | 1         |
| Режим вычерчивания двух строк одновременно | 1                           | 0         |
| Нет вывода информации                      | 0                           | 0         |

налы главных цветов: сигнал синего VA(B) – вывод 25 разъёма CN1, сигнал зелёного VB(G) – вывод 26 и сигнал красного VC(R) – вывод 27 этого разъёма. На панель через интерфейсный разъём поступают четыре напряжения питания: 5, 13, -10,9 и -16 В, а также ряд вспомогательных сигналов (см. табл. 7). На назначении некоторых из этих сигналов остановимся подробнее.

Изменением логических уровней на выводах 22 (Left/Right) и 6 (Up/Down) можно осуществлять переворот изображения как по горизонтали, так и по вертикали (см. табл. 8).

Изменением логических уровней на выводах 5 и 4 можно выбирать режим вывода информации (см. табл. 9), задавая обычный режим, когда на экране вычерчивается одна строка, или выбирая режим вычерчивания двух строк одновременно.

Следует заметить, что в TFT LCD-панелях применяются не только аналоговые и TTL-интерфейсы. В TFT LCD-панелях для телевизоров, мониторов и ноутбуков распространён последовательный интерфейс, который называют LVDS (Low Voltage Differential Signaling – низковольтная дифференциальная передача сигналов), а в широкоформатных TFT LCD-панелях для мониторов можно встретить интерфейс TMDS. Объяснение работы перечисленных интерфейсов выходит за рамки этой статьи, но его можно найти в [1, 3, 5].

### Лампы подсветки

Как мы отметили выше, пиксели LCD-панелей не излучают свет самостоятельно, а только меняют прозрачность. Для получения нормального изображения необходима так называемая система задней подсветки LCD-панели (Backlight System), для которой чаще всего используются люминесцентные лампы с холодными катодами (CCFL).

**Таблица 10. Параметры ламп подсветки, используемых в TFT LCD-панелях LB040Q02 и LB065W01**

| Параметры            | LB040Q02    | LB065W01    |
|----------------------|-------------|-------------|
| Напряжение поджига   | До 1260 В   | До 1560 В   |
| Рабочее напряжение   | 370...510 В | 660...860 В |
| Рабочая частота      | 35...80 кГц | 45...80 кГц |
| Мощность потребления | 2,34 Вт     | 4,08 Вт     |

Рассмотренные выше панели LB040Q02 и LB065W01 имеют по одной лампе подсветки. Долговечность ламп подсветки этих панелей составляет 20 000 часов. Остальные их параметры приведены в таблице 10.

Для питания ламп подсветки используются внешние инверторы – преобразователи постоянного напряжения питания в переменное со средней частотой приблизительно 50...60 кГц (см. табл. 10). Для того чтобы подключить лампы подсветки к выходу инвертора, из панелей выведены кабели с разъёмами, которые в разных панелях заметно различаются.

В заключение хочется отметить, что фирма LG.Philips LCD является одним из ведущих мировых производителей TFT LCD-панелей самого разного назначения. Из всего спектра продукции этой фирмы для отечественных производителей и разработчиков могут представлять интерес в первую очередь TFT LCD-панели с небольшой диагональю для различных применений, маркировка которых начинается с букв LB. Дополнительную информацию о фирме LG.Philips LCD и её продукции можно найти на сайте [6].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ракович Н.Н. TFT-дисплей – информативно, функционально, просто. Компоненты и технологии. 2004. № 2.
2. Пескин А. Телевизоры на ЖК панелях. ЖК панели (LCD). Радио. 2003. № 3. С. 5–7.
3. Самарин А. Архитектура TFT ЖК панелей для мониторов и ноутбуков. Компоненты и технологии. 2005. № 1. С. 56–64.
4. Самарин А. Архитектура TFT ЖК панелей для миниатюрных телевизоров. Компоненты и технологии. 2005. № 1. С. 66–76.
5. Самарин А. В. Жидкокристаллические дисплеи. Библиотека инженера. М.: Солон-Р, 2002.
6. www.lgphilips-lcd.com.

# Импульсные источники вторичного электропитания с универсальным входом

Владимир Ланцов, Саркис Эраносян (Санкт-Петербург)

**Импульсные источники вторичного электропитания (ИВЭ) с универсальным входом способны функционировать в широком диапазоне изменения входного напряжения: сетевого переменного ~85...264 В частотой 47...440 Гц или постоянного тока 120...370 В. В статье описываются принцип действия и особенности проектирования ИВЭ этого класса. Даны рекомендации по выбору схемотехнических решений и основных компонентов.**

В настоящее время в России и за рубежом выпускается большое количество импульсных источников вторичного электропитания (ИВЭ) с универсальным входом (ИВЭ-УВ). Стандартом для таких ИВЭ-УВ является способность нормально функционировать в широком диапазоне изменения входного сетевого напряжения: переменного 85...264 В частотой 47...440 Гц или постоянного 120...370 В. Вместе с тем в известных публикациях недостаточно освещены принцип действия и особенности проектирования ИВЭ-УВ. Имеющиеся работы

[1] посвящены описанию конкретных схем зарубежных ИВЭ. В этой связи авторы ставили своей целью восполнить имеющийся информационный пробел.

В Советском Союзе разработчики импульсных ИВЭ, вероятно, впервые познакомились с таким классом источников в 1972 г., когда в журнале Electronics была описана схема ИВЭ с мощностью 50 Вт фирмы Philips. Диапазон сетевого напряжения для него составлял 90...255 В частотой 47...440 Гц. В то время такой источник был предназначен, прежде всего, для

применения на территории стран Европы, Северной и Южной Америки, Юго-Восточной Азии. Дело в том, что в этих странах существовали разные стандарты на номинальное напряжение сети переменного тока: 110, 115, 127, 220 и 230 В. Для использования в упомянутых условиях выпускавшиеся импульсные ИВЭ коммерческого и реже промышленного назначения снабжались различными переключающими устройствами ручного или автоматического типа. Такие устройства позволяли изменять схемную конфигурацию отдельных узлов, например, сетевого выпрямителя и фильтра источников, для адаптации к пониженному сетевому номинальному напряжению. В частности, в 80-е гг. в источниках питания персональных компьютеров сетевой мостовой выпрямитель использовался при напряжении сети 220...230 В. Особенности этих схем рассмотрим с помощью рис. 1 и 2.

Для питания от сетевого напряжения 115...127 В в схеме ИВЭ-УВ с помощью контактного переключающего устройства происходила реконфигурация сетевого выпрямителя (рис. 1). При этом два диода (VD1, VD2) мостового выпрямителя и два электролитических конденсатора (C1, C2) образовывали удвоитель напряжения. Это позволяло получить напряжение постоянного тока порядка 300 В, необходимое для работы полумостового преобразователя без переключения выводов первичной обмотки силового высокочастотного (ВЧ) трансформатора. Обычно для этого используется автоматический переключатель (реле) S, который для обеспечения безопасной и надёжной работы преобразователя первоначально включен для работы в режиме «220 В» (положение 1 контактов S). Узел идентификации номинальной величины сетевого напряжения (УИН) даёт сигнал на переключение в режим пониженного напряжения

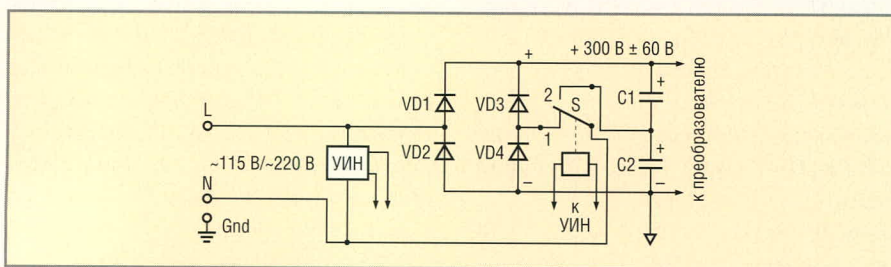


Рис. 1. Реконфигурируемый выпрямитель для ИВЭ-УВ

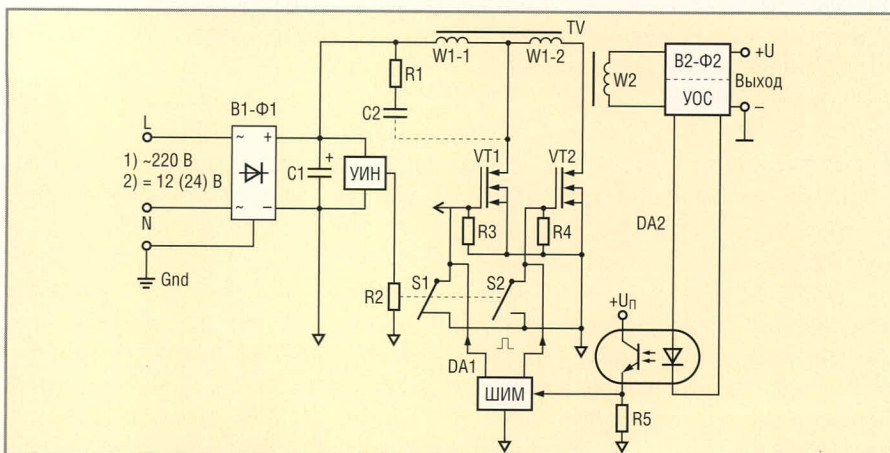


Рис. 2. ИВЭ-УВ с использованием двух силовых ключей

электропитания, например, «115 В». Процедура переключения занимает не более 20...30 мс. В общем случае УИН состоит из детектора напряжения, элемента сравнения (компаратора) и времязадающего элемента (например, таймера). В ИВЭ с однотактными преобразователями переключение из одного режима в другой производится таким же способом, но изначально нужно иметь два последовательно включенных электролитических конденсатора в сетевом выпрямителе. Отметим, что приведённое схемное решение позволяет работать от входного напряжения постоянного тока только в режиме  $300 \pm 60$  В, поскольку описанная схема удвоения напряжения не работает на постоянном токе.

Часто для электропитания некоторых передвижных объектов необходимо обеспечить работу ИВЭ и от сети переменного тока с напряжением 220 В, 50 Гц, и от аккумуляторов с напряжением 12 и 24 В. В этом частном случае схема однотактного преобразователя в ИВЭ-УВ становится более сложной. В ней (рис. 2) используются два электронных переключателя S1 и S2 для переключения по управляющим входам силовых транзисторных ключей VT1 и VT2. Один из ключей (VT1) подключен ко всей первичной обмотке (w1-1) силового трансформатора, если номинальное напряжение питания преобразователя +300 В. Другой (VT2) подключен к отводу (w1-2) от первичной обмотки для работы в режиме питания 12...24 В. Назначение других узлов и компонентов: В1-Ф1 – сетевой выпрямитель с фильтром электромагнитных помех, УИН – узел идентификации входного напряжения, В2-Ф2/УОС – выходной ВЧ-выпрямитель со сглаживающим фильтром и узлом обратной связи. Система управления ИВЭ-УВ включает в себя: DA1 – ШИМ-контроллер, DA2 – оптотранзисторную пару для гальванической развязки входа управления силовыми транзисторами от выхода.

Утверждается, что предложенная структура позволяет обеспечить функционирование от переменного напряжения 50...340 В, 50 Гц и от постоянного 10...50 В.

Следует подчеркнуть, что схема на рис. 2 представлена авторами для настоящей статьи в упрощённом виде. Описанная идея и её схемное воплощение интересны, однако вызы-

вают ряд вопросов практического характера, например, в части диапазонов как переменного, так и постоянного входного напряжения. Очевидны также трудности в практической реализации силового трансформатора, обусловленные степенью подмагничивания сердечника трансформатора в разных режимах работы.

После освоения выпуска современных импульсных ИВЭ-УВ (без автоматических переключателей в сетевом выпрямителе) они стали широко использоваться и с другой целью. Прежде всего, их применение позволяло свести к минимуму влияние существенных изменений сетевого напряжения, в том числе провалов напряжения питания, что наиболее эффективно для потребителей на промышленных предприятиях и в отдалённых районах нашей страны.

### Классификация импульсных ИВЭ-УВ и их особенности

Условно импульсные ИВЭ-УВ можно разделить на два подкласса:

- «классические» ИВЭ-УВ – это импульсные ИВЭ на основе типовых схем преобразователей, в основном однотактных с введением в схему некоторых отличительных особенностей, но без активных корректоров коэффициента мощности (ККМ, PFC);
- на основе активных корректоров коэффициента мощности, которые и решают задачу создания универсального входа.

К числу отличительных особенностей «классических» ИВЭ-УВ можно отнести:

- значительное увеличение ёмкости электролитического конденсатора в сетевом выпрямителе, необходимое, чтобы: а) обеспечить допустимую величину пульсации на нём при минимальном входном напряжении; б) выполнить стандартное требование по величине времени удержания выходного напряжения (не менее 20 мс);
- изменение основного параметра время-импульсного регулирования в более широких пределах, например, коэффициента заполнения (duty cycle) при широтно-импульсном регулировании (ШИМ) или частотно-коэффициента при частотно-импульсном регулировании (ЧИМ);

- необходимость обеспечения избыточного запаса в электрических параметрах силового трансформатора при изменении напряжения и тока в первичной обмотке в широких пределах, что неизбежно приводит к увеличению габаритов трансформатора.

Изменения приходится вводить также при выборе параметров элементов как во входной, так и в выходной цепи. В частности, необходимо при выборе компонентов примерно в два раза увеличить допустимый ток через плавкий предохранитель, пусковой терморезистор, мостовой выпрямитель. Кроме того, в силовом ключе возрастают статические потери мощности, что вынуждает либо выбирать другой тип ключа с улучшенными параметрами (RDSon или UCESat), либо улучшать теплоотвод. В выходной цепи диоды выпрямителя необходимо выбирать с большим, 2,0...2,5 раза, запасом обратного напряжения.

Отличительным признаком второго подкласса импульсных ИВЭ-УВ является наличие активных ККМ, существенно изменяющих структуру и схему импульсного ИВЭ-УВ. В то же время пассивные ККМ, в частности, с корректирующим низкочастотным дросселем, включенным после сетевого фильтра помех в цепи переменного или выпрямленного тока, не вносят принципиального изменения в функционирование ИВЭ-УВ. То же самое можно сказать и про более сложную схему пассивного ККМ, в которой, кроме низкочастотного дросселя, организован, например, подзаряд конденсатора в сетевом выпрямителе от дополнительной обмотки силового трансформатора в преобразователе. И в этом случае все недостатки «классических» ИВЭ-УВ практически остаются неизменными.

### Схемы «классических» импульсных ИВЭ с универсальным входом

Один из первых вариантов ИВЭ с универсальным входом был описан в 1995 г. [2]. Речь идёт об ИВЭ мощностью 100 Вт (5 В, 20 А), выполненном на основе однотактного прямоходового преобразователя (ОПН-П) и работающего на частоте 100 кГц. Рабочий диапазон изменения входного сетевого питающего напряжения для этого ИВЭ составляет 85...265 В.

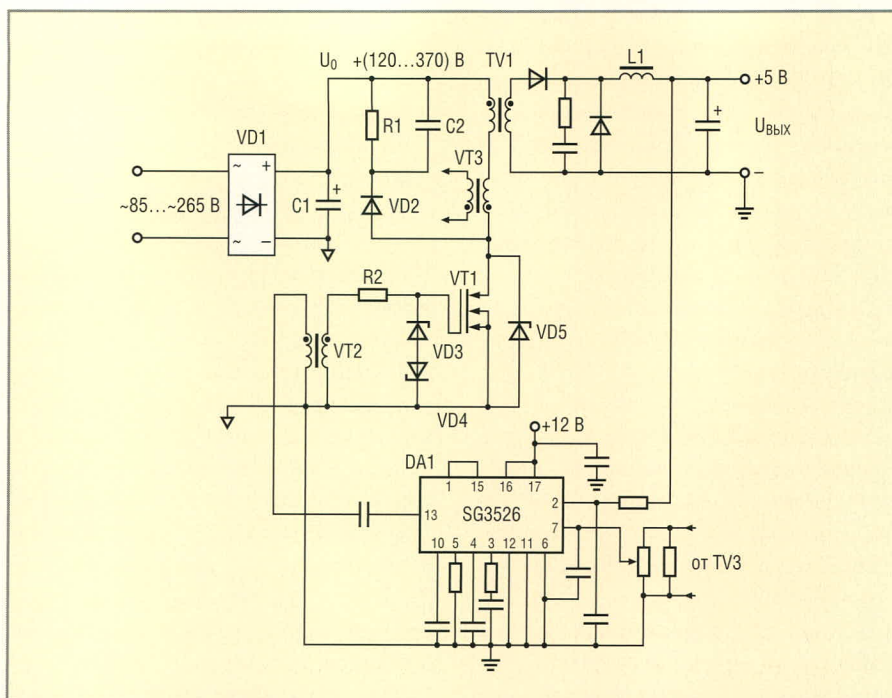


Рис. 3. ИВЭ-УВ «классического» типа на основе однотактного прямоходового преобразователя напряжения

Схема источника приведена на рис. 3.

На выходе сетевого выпрямителя VD1 включен электролитический конденсатор ёмкостью 470 мкФ (450 В). В качестве силового транзистора выбран IRF830 (500 В, 3,5 А, 1,5 Ом, 125 Вт) фирмы International Rectifier. В схеме управления использована микросхема ШИМ-контроллера SG3526 (Silicon General).

Приведём несколько предварительных соображений, прежде чем приступим к более детальному описанию особенностей упомянутого источника. В однотактных преобразователях типа ОПН-П с сетевым входом для фиксированного процесса размагничивания силового трансформатора обычно используется дополнительная размагничивающая обмотка ( $W_p$  или  $W_3$ ) с инверсным включением по отношению к первичной ( $w_1$ ) и вторичным ( $W_2$ ) обмоткам. Размагничивающая (фиксирующая) обмотка через быстродействующий диод с повышенным обратным напряжением подключена к полюсам источника питания преобразователя. Число витков размагничивающей обмотки равно или несколько больше, чем у первичной обмотки, т.е.  $W_p \geq W_1$ . При изготовлении трансформатора необходимо обеспечить максимальную магнитную связь между этими обмотками. В момент времени, когда силовой тран-

зистор закрывается, полярность напряжения на обмотке  $W_p$  изменится на обратную, при этом включенный в её цепь диод открывается и по обмотке протекает ток. Таким образом, происходит перемагничивание сердечника трансформатора при фиксированном максимальном обратном напряжении на первичной обмотке силового трансформатора. В момент времени, когда э.д.с. самоиндукции от контура намагничивания сравняется с напряжением питания, ток в обмотке  $W_p$  прекратится, и последующий процесс перемагничивания сердечника трансформатора будет определяться разрядом паразитной ёмкости первичной обмотки трансформатора. Заметим, что напряжение на стоке силового транзистора будет вначале высоким, но фиксированным, а в конце цикла перемагничивания сердечника трансформатора станет равным напряжению питания. В этой связи транзистор должен выбираться с большим значением напряжения стока:  $U_{DS} = 700...800$  В.

Независимо от наличия в схеме размагничивающей обмотки, для подавления паразитных ударных колебаний всё равно необходимо применять в схеме демфирующую RC-цепь, которая устанавливается параллельно силовому каналу транзистора [5]. Естественно, что для «классических» ИВЭ с универсальным входом, для которых принято,

что верхнее значение сетевого напряжения может составлять 265 В, а напряжение питания преобразователя при этом будет +360 В, это мало приемлемо. Поэтому в данном ИВЭ-УВ [2] с мощностью 100 Вт (5 В, 20 А), рабочий диапазон которого по входному сетевому напряжению составляет 85...265 В, принят другой подход. Одной из задач, которые решали разработчики этой схемы, была возможность применения полевого транзистора с напряжением 500 В. В связи с этим в рассматриваемой схеме применена другая схема размагничивания сердечника трансформатора.

С целью пояснения принципа работы ИВЭ-УВ рассмотрим его схему. Как видно из рисунка 3, параллельно первичной обмотке силового трансформатора, т.е. между стоком транзистора и положительным полюсом постоянного напряжения  $U_0$ , включена фиксирующая цепь. Эта VDRC-цепь, получившая название фиксатора уровня (clamer), состоит из последовательно включённого диода VD2 и конденсатора C2, параллельно которому установлен разрядный резистор R1. В результате функционирования этой цепи напряжение между стоком-исток силового транзистора после его выключения будет определяться суммой двух составляющих: текущего входного постоянного напряжения  $U_0$  и напряжения на конденсаторе  $U_{C2}$ .

Идея ограничения максимального напряжения на транзисторе заключается в том, чтобы заканчивать процесс перемагничивания сердечника силового трансформатора в конце запертого состояния транзистора, т.е. непосредственно перед его очередным включением. Поэтому схема обеспечивает необходимое равенство вольтсекундного интеграла в первичной обмотке  $W_1$  силового трансформатора как при открытом ключе, так и выключённом ключе, с учётом использования всего интервала времени паузы (ключ закрыт). Это обстоятельство, безусловно, позволяет уменьшить размагничивающее напряжение на первичной обмотке трансформатора, т.е. именно то напряжение, которое складывается с входным питающим напряжением. Отсюда появилась топология фиксирующей цепи (clamer). Конденсатор этого узла

C2 заряжается «сбросом» пикового тока в первичной обмотке W1 трансформатора и тока намагничивания  $I_{\mu 1}$  после выключения ключа. По сути этот процесс аналогичен образованию выходного напряжения, которое формируется при работе однотактного обратного преобразователя (ОПН-О). Разумеется, напряжение на конденсаторе  $U_{C2}$  зависит от длительности открытого состояния ключа при постоянном входном напряжении и постоянной частоте работы преобразователя. Соотношение между напряжением на фиксирующем резисторе  $U_{R1}$  (или  $U_{C2}$ ) и постоянным напряжением  $U_0$  для данного коэффициента заполнения  $\gamma$ , а также при непрерывном токе намагничивания трансформатора, можно представить как:

$$U_{C2} = U_{R1} = U_0[\gamma/(1 - \gamma)].$$

Параметры резистора R1 определяются при максимальном напряжении  $U_0$  и минимальном коэффициенте заполнения  $\gamma_{\min}$ , а также при максимальном пиковом токе  $I_{W1\max}$

в первичной обмотке трансформатора и максимальном пиковом токе намагничивания  $I_{\mu 1\max}$ . Обычно мощность рассеивания на этом резисторе находится в пределах 2...4% выходной мощности преобразователя.

Отметим, что эта формула характеризует зависимость  $U_{C2}$  от аргумента  $\gamma$  и представляет собой дробно-линейную функцию. Её график – равнобочная гиперболола [4]. Положительная ветвь этой гипербололы проходит через начало координат. В соответствии с принципом работы ОПН-П максимальное значение коэффициента заполнения  $U_{0\max}$  не может быть больше 0,5 (реально 0,46...0,48). В результате напряжение  $U_{C2}$  имеет максимальное значение в зависимости от параметра  $\gamma$  и при условии  $U_{0\max}$ .

В работе [2] предлагается оптимизировать потери мощности в R1 путём подбора величины этого резистора таким образом, чтобы ток намагничивания  $I_{\mu 1}$  становился прерывистым при некотором промежуточном значении входного напряжения сети. В итоге мы можем

получить, что ниже критического промежуточного уровня напряжения сети ток намагничивания становится непрерывным и уровень ограничения напряжения («подпорка») увеличивается при снижении входного напряжения. Это означает, что параметры резистора выбираются при использовании этой формулы, например, при напряжении  $0,5U_{0\max}$ . При этих условиях несколько повышается при максимальном входном напряжении пиковое напряжение на транзисторе, но зато значительно снижается рассеиваемая мощность на резисторе. В примере расчёта параметров резистора R1 [2] получены следующие результаты. В результате выбранного значения расчётного напряжения  $0,45U_{0\max}$  максимальное напряжение на транзисторе увеличилось на 4,2%. При этом диапазон потерь мощности на резисторе R1 (от максимума к минимуму) уменьшился на 38%.

«Классическая» схема ИВЭ-УВ имеет серьёзные недостатки при работе в нестационарных режимах, в частности, при перегрузках по току



Международный промышленный форум  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА . ПРИБОРОСТРОЕНИЕ . АВТОМАТИЗАЦИЯ



Техно&Ком

КРУПНЕЙШАЯ на Северо-Западе

VII международная специализированная выставка  
**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА  
И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ**

**RADEL'07**

RADIO ELECTRONICS & INSTRUMENT-MAKING INDUSTRY EXHIBITION

● ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

● КОМПЛЕКТУЮЩИЕ

● ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

● МАТЕРИАЛЫ

● КОНСТРУКТИВЫ

● ТЕХНОЛОГИИ

● ОБОРУДОВАНИЕ

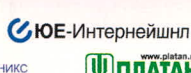
● ПРИБОРЫ

**20-23  
ноября  
2007**

Санкт-Петербург  
Петербургский СКК

Вас приглашают

Тел./факс: (812) 718-35-37; e-mail: [radel@orticon.com](mailto:radel@orticon.com); [www.fareexpo.com](http://www.fareexpo.com)



и в режиме короткого замыкания (КЗ) нагрузки. Дело в том, что существует конечное значение наименьшей длительности ШИМ-импульса при работе системы защиты по току. Она состоит из минимальной длительности импульса на выходе микросхемы, времени задержки выключения (с учётом инерционности цепи управления) и времени заряда ёмкости Миллера. В результате итоговая, наименьшая длительность импульса может составить 0,3...0,5 мкс при частоте работы 100 кГц. Это приводит к тому, что максимальный импульсный ток в режиме КЗ ограничивается только индуктивностью рассеяния силовых обмоток трансформатора, а также их активным сопротивлением с учётом сопротивления монтажных проводов. Отсюда следует, что величина тока КЗ может превышать номинальный ток в 5...10 раз в зависимости от величины выходного напряжения источника питания. При этом, естественно, резко возрастает ток через силовой транзистор. Чтобы избежать таких аварийных режимов, необходимо корректировать работу схемы защиты по току, например, «пропускать» импульсы управления силовым транзистором, не давая возможности бесконтрольного роста тока перегрузки, или переводить контроллер управления в режим ЧИМ-модулятора.

Попробуем критически взглянуть на проблемы разработки «классических» схем широкодиапазонных ИВЭ с точки зрения оптимального построения мощного ИВЭ-УВ с учётом современного уровня развития силовой электроники. В настоящее время построение блоков питания на основе ИВЭ-УВ требует дополнительных, решающих преимуществ по сравнению с традиционными блоками, рассчитанными на один вид входного напряжения с диапазоном его изменения в пределах  $\pm 20\%$ . Последние имеют более высокий КПД, несколько меньшее количество компонентов и, например, при повышенной и большой мощности, лучшие массогабаритные показатели. По нашему мнению, «классические» ИВЭ-УВ – это этап в развитии такого типа блоков питания. С другой стороны, дефицит энергоресурсов во всём мире и ужесточение требований по элект-

ромагнитной совместимости [3] предъявил разработчикам ИВЭ новые требования, а именно, повышение коэффициента мощности, потребляемой от переменной сети. Иными словами, необходимость установки в блок питания специального узла ККМ была объективной закономерностью, особенно для ИВЭ с повышенной и большой мощностью.

### Импульсные ИВЭ с универсальным входом на основе активного корректора коэффициента мощности

Одним из серьёзных недостатков ИВЭ-УВ классического типа, как отмечалось выше, является увеличение примерно в два раза токовой нагрузки на все компоненты входной цепи источника и на силовой ключ при работе на нижнем пределе входного напряжения: переменного 85 В или постоянного 120 В. Другой недостаток – большие пусковые токи, а также токи заряда электролитического конденсатора в сетевом выпрямителе (тем более значительно увеличенной ёмкости в ИВЭ-УВ). Снижение коэффициента мощности (КМ) до значения 0,4...0,6 происходит за счёт возрастания реактивной (ёмкостной) составляющей потребляемого из сети тока и появления нечётных гармоник вплоть до 15-й.

Нельзя ещё раз не указать на проблемы с силовым трансформатором. В целом преобразователь в ИВЭ-УВ функционирует в жёстких условиях. Он должен быть всесторонне отработан и испытан во всём диапазоне изменения входного напряжения и нагрузки, включая аварийные режимы. Применение пассивных ККМ на основе включения на входе низкочастотного дросселя вместе с использованием дополнительных частных решений [1, 2, 5] даёт лишь промежуточный результат. Кроме того, это достаточно эффективно лишь для маломощных источников (не более 100 Вт). Отсутствие схемы активного ККМ и связанные с этим недостатки значительно снижают привлекательность классических ИВЭ-УВ и сужают перспективы их дальнейшего развития, особенно для ИВЭ-УВ мощностью более 100 Вт.

В соответствии с известными Директивами Евросоюза [7], начиная с конца 90-х гг. практически каждый импульсный источник питания должен иметь ККМ. Такие источники могут обеспечить КМ порядка 0,97...0,99, то есть практически синусоидальную форму потребляемого из сети тока. Вступившие в действие в Европе и в других развитых странах мира новые стандарты ЭМС (EN61000-3-2-95; IEC 6100-3-2) вызвали в России появление аналогичных стандартов. В частности, в ГОСТ Р 51317.3-2-99 приведены уровни ЭМС для основных гармоник и коэффициента несинусоидальности кривой сетевого напряжения в различных зонах:

- в жилых, коммерческих и производственных с малым энергопотреблением (технические средства – ТС класса В);
- в промышленной зоне (ТС класса А).

Однако работа ККМ в условиях широкого диапазона изменения входного напряжения имеет ряд особенностей. Во-первых, работа от низкого входного сетевого напряжения приводит к значительному повышению рабочего тока накопительного дросселя ККМ, а также импульсного тока силового транзистора и бустерного диода. Это обуславливает увеличение габаритов дросселя и требует применения силового транзистора, рассчитанного на больший допустимый ток стока. Для иллюстрации изложенного приведём некоторые расчётные данные по параметрам ККМ. В качестве конкретного примера выберем ИВЭ мощностью 400 Вт (5 В, 80 А), работающий от сетевого напряжения  $220 \text{ В} \pm 20\%$ , 50 Гц [8]. В отличие от параметров, приведённых в [8], рассмотрим работу схемы ККМ в блоке питания, который должен работать в условиях изменения входного сетевого напряжения в диапазоне 80...270 В. Таким образом, ИВЭ становится ИВЭ-УВ. В результате расчётов получены следующие параметры ККМ:

$$I_{\text{вхпик}} = P_{\text{п}} \times \sqrt{2} / (\eta_{\text{ККМ}} U_{\text{вхmin}}) = 400 \times \sqrt{2} / (0,9 \times 0,93 \times 80) = 8,5 \text{ А.}$$

Данное значение тока получено при следующих значениях параметров и обозначениях:

$I_{\text{вхпик}}$  – амплитудное значение тока потребления на входе ККМ;

$P_{II}$  – мощность, потребляемая ККМ от сети,  $P_{II} = P_{н}/\eta_{пн}$ ;  
 $P_{н}$  – мощность на выходе ИВЭ, равная 400 Вт;  
 $\eta_{пн}$  – КПД преобразователя ИВЭ, равный 0,9;  
 $\eta_{ккм}$  – КПД ККМ, равный 0,93 (из предварительного расчёта);  
 $U_{вхmin}$  – минимальное входное сетевое напряжение, равное 80 В.  
 Максимальный коэффициент заполнения  $K_{zmax}(D_{max}/\gamma)$  импульсов открытого силового транзистора ККМ – при минимальном входном напряжении будет:

$$\gamma_{max} = (U_0 - 80 \times \sqrt{2})/U_0 = (400 - 80 \times \sqrt{2})/400 = 0,72,$$

где  $U_0 = 400$  В – постоянное напряжение на выходе ККМ (обычно выходное напряжение ККМ принимается 375...400 В).

Эффективное значение тока  $I_{TVэфф}$  через силовой транзистор VT, а также другие расчётные данные найдём по формулам [9]:

$$I_{TVэфф} = 2I_{вхпик} \sqrt{0,5 - [(4U_{вхmin} \times \sqrt{2})/(3\pi U_0)]} = 8,5 \sqrt{0,5 - [(4 \times 80 \times \sqrt{2})/(3\pi \times 400)]} = 5,24 \text{ А.}$$

Эффективное значение тока  $I_{VDэфф}$  через силовой диод VD:

$$I_{VDэфф} = 2I_{вхпик} [(U_{вхmin} \times \sqrt{2})/(3\pi U_0)] = 2 \times 8,5 \sqrt{[(80 \times \sqrt{2})/(3\pi \times 400)]} = 2,94 \text{ А.}$$

Наконец, можно определить индуктивность накопительного дросселя по формуле:

$$L = (U_{вхmin} \times \sqrt{2}) \gamma_{max} / (f_{ккм} \Delta I) = (80 \times \sqrt{2}) \times 0,72 / (150 \times 0,2 \times 8,5) = 0,32 \text{ мГн,}$$

где  $f_{ккм}$  – частота работы транзистора VT в ККМ, а  $\Delta I$  – амплитуда пульсаций тока дросселя (обычно  $\Delta I = 0,2I_{вхпик}$ ).

Такой дроссель может быть выполнен на магнитопроводе МП-140 размером K44 × 28 × 10,3 мм и массой 80 г.

Если провести сравнительный анализ параметров этого ККМ и приведённого в статье [8], то можно сделать вывод: входной импульсный ток силового транзистора и силового (бустерного) диода в ККМ для блока питания с универсаль-

ным входом более чем в 2 раза превышает ток ККМ обычного стандартного ИВЭ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные авторами в данной статье классификация источников питания с универсальным входом, а также некоторые типовые схемные решения отдельных практических блоков питания показывают основные пути развития и технические проблемы в данной области.

В связи с этим можно подчеркнуть, что разработка блоков питания типа ИВЭ-УВ, на наш взгляд, целесообразна для следующих областей технической деятельности:

- в качестве лабораторных источников для всех видов исследовательских работ;
- в качестве блоков питания, применяемых для длительных (автономных) работ поисково-экспедиционного характера, например, в условиях существования удалённых баз в Антарктиде, военного назначения, в космосе.

Структурно они могут содержать следующие основные узлы:

- входной универсальный выпрямительный мост;
- ККМ, адаптированный к сети постоянного тока с устройством интеллектуального распознавания вида и параметров сети;
- высокочастотный преобразователь с рабочими частотами 200...400 кГц;
- микропроцессорную систему управления всеми режимами работы ИВЭ-УВ, в том числе с функциями измерения, диагностики и отображения информации о текущих параметрах блока;
- оптимальную систему организации охлаждения теплонапряжённых элементов всего блока с учётом фактических параметров окружающей среды, которая должна значительно повысить надёжность ИВЭ-УВ.

В связи с этим представляется, что будет возрастать спрос на разработку и производство таких блоков питания именно в тех областях, где потребитель без использования преимуществ ИВЭ-УВ обойтись не сможет и поэтому будет готов к покупке более дорогого, но и существенно лучшего по параметрам изделия. Возможно, это будут блоки питания мощностью выше 1...3 кВт.

### ЛИТЕРАТУРА

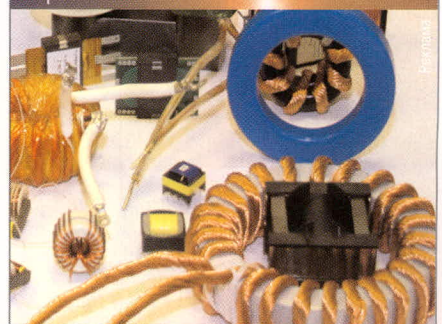
1. *Жданкин В.* Принципиальная схема ИВЭП серии NLP65. СТА. 2003. № 4.
2. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с английского под редакцией В.В. Токарева. 1-е издание. Воронеж, 1995.
3. *Ланцов В.В., Эраносян С. А.* Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. Силовая электроника. 2006. № 4; 2007. № 1, 2.
4. *Рыбасенко В.Д., Рыбасенко И.Д.* Элементарные функции: Формулы, таблицы, графики. М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1987.
5. Патент США 5, 600, 546 & 5, 652, 700.
6. Каталог Power supply, Artesyn, 1998.
7. Электромагнитная совместимость технических средств. Справочник. Под ред. Кармашева В.С. М., 2001.
8. *Эраносян С., Ланцов В.* Разработка интегрированных силовых модулей и их применение в источниках вторичного электропитания. Современная электроника. 2006. № 8.
9. *Полищук А.* Высоковольтные диоды Шоттки из карбида кремния в источниках электропитания с преобразователями частоты. Компоненты и технологии. 2004. № 5.



### Северо-Западная лаборатория

Генеральный представитель Epcos по ферритам в России и СНГ

ЗАО "Лэпкос" СЗЛ предлагает со склада :  
 - Ферритовые сердечники Epcos и ЗАО НПФ Феррокерам  
 - Недорогие материалы с высокой индукцией насыщения (MPP, Kool M, High Flux, Iron Powder) Magnetics и Micrometals  
 - Наномангнитные материалы для мощной силовой электроники  
 - Намоточные каркасы, скобы, материалы для намотки  
 - Пассивные компоненты фирмы Epcos  
 ЗАО "СЗЛ" является крупнейшим в СНГ изготовителем трансформаторов и дросселей мощностью от 1 Вт до 150 Квт, работающих в диапазоне от 10 Гц до 150 МГц для силовой электроники, светотехники, телекоммуникаций. Осуществляется разработка и изготовление трансформаторов по документации или ТЗ Потребителя.



т/ф (812) 369-11-54, (812) 369-51-80  
 e-mail: epcos@ferrite.ru http://www.ferrite.ru

# Индикаторные VFD-модули NORITAKE ITRON формата 128 × 64 и 256 × 64

Сергей Антонов (Москва)

**В прикладных устройствах со встраиваемыми дисплеями весьма распространены приборы отображения небольшой информационной ёмкости. В то же время малогабаритные графические дисплеи форматов 128 × 64 и 256 × 64 позволяют реализовать достаточно насыщенный и привлекательный пользовательский интерфейс.**

Графические дисплеи формата 128 × 64 и 256 × 64 применяются как в профессиональной, так и бытовой технике. Например, формат 256 × 64 позволяет встроить дисплей в «низкопрофильное» устройство, такое как автомобильная магнитола, а небольшой дисплей разрешением 128 × 64 хорошо «впишется» в микропроцессорный измерительный прибор. Если конечное устройство не является мобильным, важным требованием к дисплею является возможность выводить чёткое изображение, читаемое независимо от положения пользователя, что позволяет обеспечить достаточные яркость, контраст и широкий угол обзора. Этим требованиям удовлетворяют дисплеи компании Noritake Itron, поэтому возможности графических приборов отображения информации формата 128 × 64 и 256 × 64 будут рассмотрены на их примере.

Популярные серии индикаторных модулей компании Noritake Itron GU-3900 и GU-7000 включают множество индикаторных модулей небольшой и средней информационной ёмкости, построенных на основе VFD-трубок разрешением от 112 × 16 до 512 × 32 (см. таблицу). VFD-технология позво-

ляет получить яркое контрастное изображение и обеспечивает применение дисплея в расширенном диапазоне температур эксплуатации и хранения. Индикаторные модули на основе VFD-матриц имеют встроенные контроллеры, знакогенератор и преобразователи питания. Их можно подключать непосредственно к микропроцессору или стандартному интерфейсу, например RS232. Для работы большинства моделей индикаторных модулей Noritake Itron требуется один источник питания.

Модули серии GU-3900, обладающие мощными дополнительными функциями, позиционируются как продукты Hi-End. Помимо разнообразных возможностей вывода графической и текстовой информации, они имеют возможность самостоятельно выполнять записанные во встроенной флэш-памяти макросы, взаимодействовать с периферийными устройствами, подключенными к дополнительному порту ввода-вывода. Таким образом, модули Noritake Itron серии GU-3900 являются микрокомпьютерами с собственным языком программирования, которым можно передать исполнение некоторых функ-

ций и экономить ресурсы центрального процессора системы.

Серия GU-7000 реализует «минималистический» подход к реализации дисплейного модуля. В этот «минимум» входят: вывод текстовой и графической растровой информации, многостраничный знакогенератор, возможность независимого вывода текста и графики в задаваемые пользователем окна.

Модули формата 256 × 64 находятся на пересечении этих двух серий. Некоторые имеют идентичные размеры экрана и внешние габариты, например, GU256X64D-3900 и GU256X64D-7000 (экран 115,05 × 28,65 мм, габариты 159,0 × 50,0 мм). В зависимости от особенностей решаемой задачи разработчик может использовать модуль серии GU-3900 с расширенными возможностями или применить простой модуль серии GU-7000. В серии GU-3900 выпускаются также модули с более крупным экраном – GU256X64E-3900 и GU256X64F-3900.

Недавно выпущенные компанией Noritake Itron индикаторные модули GU256X64D-7000 и GU128X64D-7000 стали важной частью серии GU-7000. Эта серия состоит из индикаторных модулей небольшого разрешения и размера с простым управляющим интерфейсом. Они содержат один источник питания, многоязычный знакогенератор, подключение к микропроцессору по параллельной шине или последовательному интерфейсу, в уровнях логики или RS-232. Дисплеи с разрешением 256 × 64, довольно большим для VFD, применялись до этого в основном в серии GU-3900, состоящей из модулей, снабжённых мощной «начинкой»: дополнительным портом ввода/вывода, энергонезависимой памятью и внутренним языком программирования для записи макросов. Набор команд серии GU-7000, являясь подмножеством команд серии GU-3900, включает команды для работы с текстом, команды для работы с пользовательскими окнами, позиционирования курсора, загрузки и вы-

**VFD-модули фирмы Noritake Itron серий GU-3900 и GU-7000**

| Разрешение                                   | Серия   | Многоязычный знакогенератор | Пользовательские окна | Энергонезависимая память | Макросы | Дополнительный порт I/O |
|--|---------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|---------|-------------------------|
| 512 × 32<br>384 × 32                         | GU-3900 | •                           | •                     | •                        | •       | •                       |
|  | GU-7000 |                             |                       |                          |         |                         |
| 256 × 128                                    | GU-3900 | •                           | •                     | •                        | •       | •                       |
|  | GU-7000 |                             |                       |                          |         |                         |
| 256 × 64                                     | GU-3900 | •                           | •                     | •                        | •       | •                       |
|  | GU-7000 | •                           | •                     |                          |         |                         |
| 128 × 64                                     | GU-3900 |                             |                       |                          |         |                         |
|  | GU-7000 | •                           | •                     | •                        |         |                         |
| 280 × 16<br>140 × 32<br>140 × 16<br>112 × 16 | GU-3900 |                             |                       |                          |         |                         |
|  | GU-7000 | •                           | •                     | •                        |         |                         |

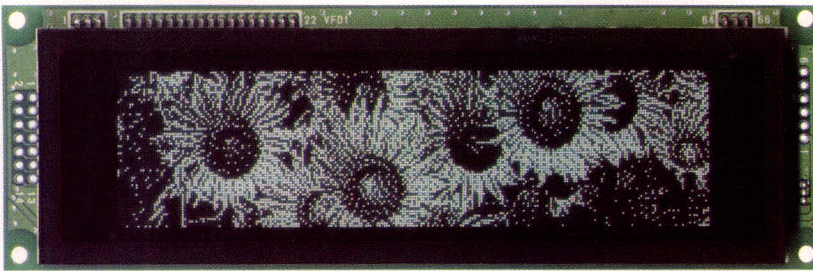


Рис. 1. Модуль GU256X64D-7000

вода растровых данных и пользовательских символов. Форматы данных и загружаемых символов также совпадают. Таким образом, если приложение использует только основные функции индикаторного модуля GU256X64D-3900, можно рассмотреть бюджетную альтернативу в виде модуля GU256X64D-7000 (рис. 1). На мой взгляд, выпуск «лёгкого» модуля на основе дисплея с большим разрешением вполне оправдан, поскольку раньше часть пользователей применяла модули GU256X64x-3900 только из-за разрешения дисплея, ограничиваясь использованием основного набора команд по выводу текста и графики. Теперь у них есть возможность выбрать модуль «без излишеств», а те, кто использует «продвинутые» функции интеллектуальных модулей, будут и дальше использовать серию GU-3900.

Разрешение 128 × 64 некоторое время оставалось вне популярных серий GU-3900 и GU-7000. Несмотря на наличие модуля с быстрым интерфейсом GU128X64-800 (серия GU-800) и интеллектуальных модулей GU126X64D/F-K61x (серия GU-600), в нише модулей с разрешением 128 × 64 оставались вакантные места. После появления модуля GU128X64D-7000 с экраном 57,5 × 28,7 мм там стало теснее. По размеру экрана и габаритам он наиболее близок к интеллектуальным модулям GU126X64D/F-K61x. Они снабжены дополнительным портом ввода/вывода и возможностями создания макросов. Эти функции, как и в случае модулей серии GU-3900, могут оставаться невостребованными. С другой стороны, довольно часто пользователи используют дисплеи с разрешением 128 × 64, выполненные на основе ЖК-технологии, но если качество их изображения перестает удовлетворять заказчика или если нужно расширить диапазон рабочих температур, модуль GU128X64D-7000 сможет стать под-

ходящим решением. Он представлен на рис. 2.

Надо отметить, что излишества проникают и в серии GU-7000, и это явление можно считать позитивным. Так, Noritake Itron добавляет в серию GU-7000 версии модулей, снабжённые встроенной флэш-памятью, куда можно записать множество изображений и выводить их во весь экран короткой командой. Если учесть, что небольшие дисплеи часто применяются в устройствах на основе «лёгких» встраиваемых микроконтроллеров, экономия ресурсов процессора и сокращение объёма передаваемых данных может иметь большое значение для разработчика. Эта тенденция коснулась и дисплеев рассматриваемого нами формата: недавно был выпущен модуль GU128X64D-7900 со встроенной флэш-памятью.

Среди новинок компании Noritake Itron были представлены модули GU128X64F-7000 и GU128X64F-7900 (модель со встроенной флэш-па-

мятью), которые имеют экран 83,1 × 41,5 мм, более крупный по сравнению с модулями семейства GU128X64D-7xxx. Такой же размер экрана имеет модуль GU256X128C-3900 серии GU-3900. Поэтому если информационная ёмкость 128 × 64 достаточна для вывода сообщений прикладной задачи, разработчик имеет бюджетную альтернативу в виде GU128X64F-7x00.

Следует несколько слов сказать об особенностях, присущей модулям серий GU-3900 и GU-7000: они весьма дружелюбны к пользователю и позволяют начать работу при минимальном знакомстве с технической документацией. После включения питания модули отображают передаваемые от управляющего процессора байты в диапазоне 20H – 7FH как ASCII-символы. Это позволяет разработчику быстро реализовать базовые функции прикладного устройства и после этого уделить время изучению возможностей развития пользовательского интерфейса. ©

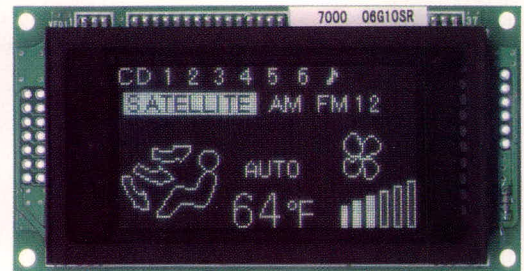


Рис. 2. Модуль GU128X64D-7000

*Noritake itron*<sup>®</sup> С нами ярче!

Дисплеи NORITAKE ITRON

- Яркость
- Контраст
- Широкий угол обзора
- Расширенный диапазон рабочих температур





GU384X32L-3900  
DP=1.2x1.6mm



CU200495CPB-W2J  
Character height 9mm  
PLEASE CONTACT US!!  
TEL:052-561-7202



РосЭлектрон

РосЭлектронКомплект  
(495) 775-8940  
www.otobrazhenie.ru  
info@roselectron.ru

Наш стенд на выставке «EuroDISPLAY - 2007»: B13

# Пьезоинверторы компании Zipru – передовое решение для систем подсветки ЖК-дисплеев

Андрей Головастов (Москва)

В статье рассмотрены преимущества и особенности применения пьезокерамических преобразователей в системах питания люминесцентных ламп с холодным катодом.

ЖК-дисплеи являются пассивными устройствами отображения информации. Чтобы сформированное изображение воспринималось глазом человека, его необходимо подсвечивать. В современных дисплеях, как правило, используют люминесцентные лампы с холодным катодом (ЛЛХК). ЛЛХК-подсветка отличается относительно малым потреблением энергии и очень ярким белым светом. Для управления ЛЛХК необходим инвертор, преобразующий постоянное напряжение питания (5 или 12 В) в переменное напряжение с амплитудой до 1500 В и частотой 40...60 кГц. Основная задача инвертора – обеспечивать надёжное зажигание ЛЛХК во всём рабочем диапазоне температур.

Пьезоэлектрический (прямой и обратный) эффект, возникающий в составных пьезоэлементах, находит широкое применение в устройствах питания ламп подсветки ЖК-дисплеев.

Со времени изобретения в 1954 г. пьезокерамического трансформатора многое было сделано для совершенствования технологии материалов и схемотехники. Сегодня мы используем разнообразные устройства из высокочастотной пьезокерамики в повседневной жизни. Благодаря небольшим размерам, малым шумам, высокой гальванической изоляции, пожаробезопасности,

возможности работы на частотах свыше 500 кГц и нечувствительности к магнитным полям, пьезокерамические трансформаторы становятся практически незаменимыми в различных электромеханических преобразователях.

Пьезотрансформаторы выполняются из специальной керамики и представляют собой монолитные конструкции различной формы (прямоугольной, квадратной, кольцевой, цилиндрической). По аналогии с электромагнитными трансформаторами, с помощью электродов сформированы две секции – входная и выходная (см. рис. 1).

Принцип действия пьезотрансформатора основан на двойном преобразовании энергии: во входной секции электрическая энергия преобразуется в механическую, а в выходной секции механическая энергия преобразуется в электрическую. Особенностью работы пьезокерамического инвертора является резонансный характер преобразования энергии в сравнительно узкой полосе частот. Максимальные значения основных параметров – коэффициента трансформации, КПД и выходной мощности – достигаются при его работе на резонансной частоте.

На сегодняшний день существует ряд компаний, предлагающих различные модели пьезоинверторов, и признанным лидером этой технологии является компания Zipru Technology.

На рис. 2 показаны внешний вид и габаритный чертёж пьезоинвертора Zipru (модель 400-8888-048), предназначенного для питания одной ЛЛХК. На плате реализованы схемы

регулирования яркости и защиты. Для подключения нагрузки служит разъём CN2, питание подаётся через соединитель CN1. Требуемый диапазон тока нагрузки выставляется при помощи переключки J1.

Важные особенности инверторов Zipru:

- уверенный запуск ЛЛХК при  $-40^{\circ}\text{C}$  без дополнительного подогрева;
- во всех инверторах имеется защита от образования коронного разряда. Все устройства прошли тест в вакуумной камере при давлении 24 PSIA без возникновения высоковольтного разряда.

Компания Zipru разработала специальные рекомендации по дополнительной защите контактов и узлов инвертора для эксплуатации в условиях разрежённого воздуха, пониженного давления и повышенной опасности возникновения коронного разряда.

Существует целый ряд преимуществ, которые даёт применение пьезоинверторов. Рассмотрим их.

## Отсутствие электромагнитного излучения

Пьезопреобразователи практически не производят электромагнитного излучения (ЭМИ), поскольку выполнены из непроводящей керамики. Их излучение на 12...18 дБ ниже общепромышленного фона ЭМИ. Известно, что создание миниатюрного обмоточного трансформатора для классических преобразователей сопряжено со значительными трудностями. Так, при уменьшении габаритов резко увеличиваются потери, обусловленные поверхностным эффектом, малым сечением проводов и эффектом гистерезиса в материале сердечника; повышенная плотность магнитного излучения требует дополнительной экранировки. Использование пьезоэлектрического трансформатора лишено этих недостатков и позво-

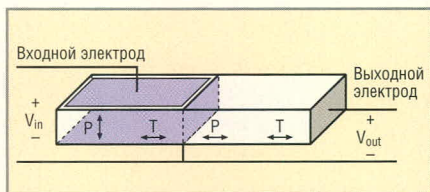


Рис. 1. Простейший пьезотрансформатор

ляет создавать миниатюрные конструкции.

### Низкий уровень помех

Работающий инвертор, как правило, является основным источником высокочастотных помех для электронных и радиочастотных схем. Применение инверторов с более высокой частотой преобразования значительно уменьшает данное воздействие. Но существующие требования к производительности и экономически целесообразной стоимости компонентов иногда являются препятствием для минимизации помех.

Пьезоинверторы Zirru работают на частоте 53 или 74 кГц. Ведутся работы над 100-кГц приборами. Но даже существующие модели имеют преимущество в частоте преобразования над традиционными инверторами.

### Высокая эффективность преобразования

Преобразование электроэнергетической энергии осуществляется пьезотрансформатором с КПД примерно 95%, а общий КПД схемы инвертора превышает 90%.

### Пожаробезопасность

Отсутствие нагревающегося при работе электромагнитного трансформатора и взрывоопасного высоковольтного конденсатора многократно повышает этот фактор, важный при использовании инверторов в схемах, предъявляющих повышенные требования к безопасности.

### Эффективное регулирование яркости

В традиционных инверторах для регулировки яркости используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ), при которой люминесцентная лампа включается и выключается в течение каждого такого цикла регулирования, т.е. напряжение на лампе попеременно достигает высшего и низшего порогового уровня. Пьезоинверторы Zirru используют запатентованный метод амплитудно-токового регулирования, при котором достигается широкий диапазон управления яркостью без предельных бросков напряжения на лампе.

На приведённых экспериментальных осциллограммах (см. рис. 3)

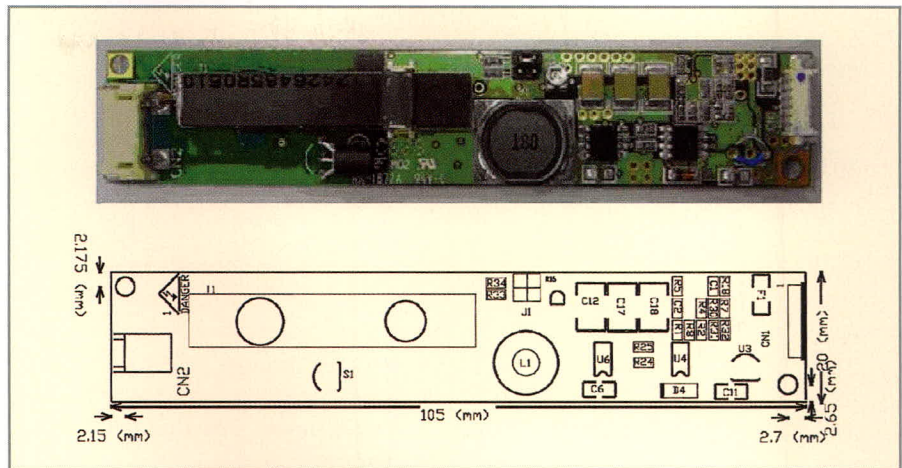


Рис. 2. Пьезоинвертор модели 400-8888-048 для питания одной ЛЛХК

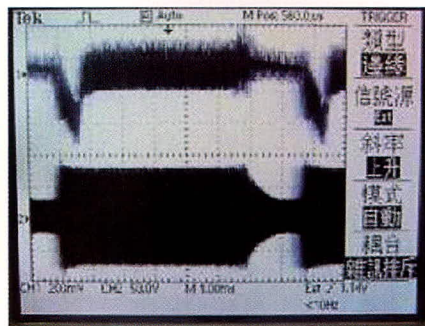


Рис. 3. Экспериментальная осциллограмма процесса регулирования яркости

видно, что сигнал CH2 (с делителем 1 : 10) – рабочее напряжение в течение цикла включения – составляет около 700 В, затем в течение цикла отключения напряжение снижается до 250 В. Схема управления яркостью будет изменять параметры сигнала и, следовательно, действующие значения амплитуды напряжения на лампе, но при этом оно никогда не достигает критического для лампы значения.

Это в значительной мере способствует уменьшению эрозии электродов и повышает срок службы ламп подсветки. Кроме того, для регулировки яркости применяется запатентованный универсальный dimming-вход, способный воспринимать как аналоговые, так и цифровые управляющие сигналы.

### Большое время наработки на отказ

Благодаря отсутствию высоковольтного конденсатора и обмоточного трансформатора показатели надёжности, рассчитанные по нормам MTBF (среднее время наработки на отказ), составляют 3,1 млн. ч работы для однолампового и 2,6 млн. ч для двухлампового инвертора.

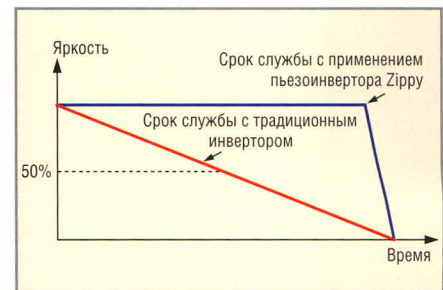


Рис. 4. График, условно показывающий срок службы лампы при питании от разных инверторов

### Продолжительный срок службы лампы

По данным исследований, проведённых компанией NEC, асимметрия формы синусоидального напряжения питания лампы не должна превышать 5%. Если напряжение питания имеет более значительную асимметрию, это приводит к ускоренному разрушению электродов лампы.

Срок службы ЛЛХК определен как время, когда её яркость при температуре окружающей среды  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  снижается до 50% от первоначальной. Из графика (см. рис. 4) видно, что при использовании пьезоинвертора этот срок увеличивается.

«Миграция ртути» – хорошо известный феномен, встречающийся в традиционных инверторах с асимметричным выходным сигналом, содержащим большое количество чётных гармоник.

Пары ртути и смеси разрежённых газов (неон, аргон) – это вещества, которые присутствуют в стеклянной колбе люминесцентной лампы. Во время газового разряда ртуть ионизируется. В течение положительной полуволны напряжения питания ионы ртути двигаются в направлении от анода к катоду. Затем, в течение отрицательной по-

Таблица 1. Модели пьезоинверторов

| Количество ламп                    | Мощность, Вт | Модель      | Размеры, мм   |
|------------------------------------|--------------|-------------|---------------|
| 1 лампа                            | 3,5          | FC01-12-03  | 105 × 20      |
|                                    | 3,5          | FC01-12-03  | 105 × 20      |
|                                    | 6            | FC01-12-06  | 120 × 20      |
|                                    | 6            | FC01-12-06  | 120 × 20      |
| 2 лампы, одностороннее подключение | 3,5          | FC02-12-03  | 120 × 30      |
|                                    | 3,5          | FC02-12-03  | 120 × 30      |
|                                    | 3,5          | FC02-12-03  | 120 × 30      |
|                                    | 3,5          | FC02-12-03  | 120 × 30      |
|                                    | 6            | FC02-12-06  | 135 × 30      |
|                                    | 6            | FC02-12-06  | 135 × 30      |
|                                    | 6            | FC 02-12-06 | 135 × 30      |
|                                    | 6            | FC02-12-06  | 135 × 30      |
| 2 лампы, двухстороннее подключение | 3,5          | FC 02-12-03 | 140 × 20 × 12 |
|                                    | 3,5          | FC02-12-03  | 140 × 20 × 12 |
|                                    | 6            | FC02-12-06  | 175 × 30      |
| 4 лампы                            | 6            | FC04-12-06  | 175 × 40      |
|                                    | 6            | FC04-12-06  | 175 × 40      |
|                                    | 6            | FC04-12-06  | 175 × 40      |
|                                    | 6            | FC04-12-06  | 175 × 40      |
|                                    | 6            | FC04-12-06  | 175 × 40      |
| 6 ламп, одностороннее подключение  | 6            | FC06-12-06  | 105 × 120     |
|                                    | 6            | FC06-12-06  | 105 × 120     |
|                                    | 6            | FC06-12-06  | 105 × 120     |
| 6 ламп, двухстороннее подключение  | 6            | FC06-12-06  | 220 × 78      |
|                                    | 6            | FC06-12-06  | 220 × 78      |
|                                    | 6            | FC06-12-06  | 242 × 72      |
|                                    | 6            | FC06-12-06  | 220 × 78      |
|                                    | 6            | FC06-12-06  | 220 × 78      |
| 12 ламп                            | 6            | FC12-12-06  | 200 × 120     |
|                                    | 6            | FC12-12-06  | 200 × 120     |
|                                    | 6            | FC12-12-06  | 200 × 120     |
| 16 ламп                            | 6            | FC16-12-06  | 320 × 120     |
|                                    | 6            | FC16-24-06  | 320 × 120     |

Таблица 2. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы Hitachi

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер     | Модель монитора |               |
|-----------------|------------------|------------|-----------------|---------------|
| 1 лампа         | 4008888010       |            | TFTMD38951CBH   |               |
|                 |                  |            | TFTMD38971CBA   |               |
|                 |                  |            | TX31D73VC1CAA   |               |
|                 |                  |            | TX36D70VC1CAF   |               |
|                 |                  |            | TX14D12VM1CBA   |               |
|                 | 4008888030       | 5,7"       | TX14D12VM1CAA   |               |
|                 |                  | 5,7"       | TX14D11VM1CBB   |               |
|                 |                  | 5,7"       | TX14D11VM1CBA   |               |
|                 | 4008888047       | 6,2"       | TX16D11VM2CAA   |               |
|                 |                  | 6,2"       | TX16D11VM2CBA   |               |
|                 |                  | 7"         | SX19V007-Z2A    |               |
|                 | 4008888048       | 5,7"       | TX14D11VM1CAA   |               |
|                 |                  | 5,7"       | TX14D11VM1CBA   |               |
|                 |                  | 7"         | TX18D16         |               |
|                 |                  | 7"         | TX18D16VM1CAB   |               |
|                 |                  | 7"         | TX18D16VM1CBA   |               |
|                 |                  | 7"         | TX18D16VM1CAA   |               |
|                 |                  | 8,0"       | TX20D16VM2BAA   |               |
|                 | 2 лампы          | 4008888102 | 15,1"           | TX38D88VC1GAA |
|                 |                  | 4008888136 | 10,4"           | TX26D02VM1CAA |
| 6 ламп          | 4008888310       | 15"        | TFTMD38170CBA   |               |

лувольны, полярность меняется – ионы двигаются в обратном направлении.

Если амплитуды положительной и отрицательной полуволн равны, то расстояние, пройденное ионами ртути в одном и другом направлениях за период, остается неизменным. Таким образом, общее количество мигрирующих ионов ртути внутри колбы будет неизменным. Однако, в случае асимметричной формы питающего напряжения с разными амплитудами положительной и отрицательной полуволн, путь, пройденный ионами за время действия поло-

жительной полуволны, будет больше, чем за время действия отрицательной полуволны. В результате ионы ртути будут постепенно мигрировать с одного электрода лампы на другой, что приводит к появлению розового свечения со стороны одного из электродов лампы и свидетельствует о её скором выходе из строя.

Вышеупомянутые особенности пьезоинверторов позволяют исключить эффект «миграции ртути». Более того, применение пьезоинвертора восстановит ЛЛХК с уже возникшей проблемой.

Таблица 3. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы LG

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер        | Модель монитора |          |
|-----------------|------------------|---------------|-----------------|----------|
| 1 лампа         | 4008888010       | 6,5"          | LB065WQ3        |          |
|                 |                  | 12,1"         | LP121X1-A2M1    |          |
|                 |                  | 12,1"         | LP121X04 -/5    |          |
|                 |                  | 12,1"         | LP121S4         |          |
|                 |                  | 13,3"         | LP133X7         |          |
|                 |                  | 13,3"         | LP133X8         |          |
|                 |                  | 14,1"         | LP141E02 -/04   |          |
|                 |                  | 14,1"         | LP141XA -/A1    |          |
|                 |                  | 14,1"         | LP141X5-A       |          |
|                 |                  | 14,1"         | LP141X6-A1LB    |          |
|                 |                  | 14,1"         | LP141X7         |          |
|                 |                  | 15"           | LP150E02        |          |
|                 |                  | 15"           | LP150U01 -/03   |          |
|                 |                  | 15"           | LP150E02 -/04   |          |
|                 |                  | 15"           | LP150X1 -/X2    |          |
|                 |                  | 15"           | LP150X05        |          |
|                 |                  | 15,4"         | LP154W01        |          |
|                 |                  | 4008888030    | 6,5"            | LB065W01 |
|                 |                  | 4008888047    | 4"              | LB040Q02 |
|                 |                  |               | 5"              | LB050WQ1 |
|                 | 6,4"             |               | LB064V02-A1/B1  |          |
|                 | 6,4"             |               | LB064V02-FA/EA  |          |
|                 | 7,0"             |               | LB070W02-A5     |          |
|                 | 8,0"             |               | LB080WV3        |          |
|                 | 10,4"            |               | LB104S01        |          |
|                 | 10,4"            |               | LP104S5-C1      |          |
|                 | 10,4"            |               | LP104S5-B2AP    |          |
|                 | 10,4"            |               | LP104S5-TA      |          |
|                 | 4008888048       | 10,4"         | LP104S5-V2AT    |          |
|                 |                  | 10,4"         | LC104S1         |          |
| 10,4"           |                  | LC104S1A1     |                 |          |
| 12,1"           |                  | LC121S1-A1    |                 |          |
| 14,1"           |                  | LP141XB-A1    |                 |          |
| 14,1"           |                  | LP141X2       |                 |          |
| 14,1"           |                  | LP141X3       |                 |          |
| 6,4"            |                  | LP064V1 -/LE  |                 |          |
| 6,4"            |                  | LC064N1       |                 |          |
| 10,4"           |                  | LP104V2 -/W   |                 |          |
| 2 лампы         | 4008888106       | 12,1"         | LB121S02        |          |
|                 |                  | 12,1"         | LB121S03        |          |
|                 |                  | 12,1"         | LB121S1-A1      |          |
|                 |                  | 12,1"         | LB121S1-A2      |          |
|                 |                  | 15"           | LS150X03-A3     |          |
|                 |                  | 15"           | LB150X6         |          |
|                 |                  | 15"           | LM150X05        |          |
|                 |                  | 15"           | LM150X06        |          |
|                 |                  | 15"           | LM150X07        |          |
|                 |                  | 15"           | LM150X08        |          |
|                 |                  | 15"           | LM150X08-SA     |          |
|                 |                  | 15,1"         | LM151X1         |          |
|                 |                  | 15,1"         | LM151X2         |          |
|                 |                  | 15,1"         | LM151X05        |          |
|                 |                  | 15,1"         | LM151X06        |          |
|                 | 15,1"            | LM151X4       |                 |          |
|                 | 15,1"            | LM151X3       |                 |          |
|                 | 15,7"            | LM157E1-A2    |                 |          |
|                 | 15,7"            | LM157E2       |                 |          |
|                 | 4008888131       | 10,4"         | LB104V03A1      |          |
| 4008888136      | 6,4"             | LP064V1-F -/T |                 |          |
|                 | 15"              | LM150X02      |                 |          |
| 4 лампы         | 4008888205       | 15,1"         | LC151X01-C3     |          |
|                 |                  | 17"           | LM170E01        |          |
|                 |                  | 17"           | LM171W01        |          |
|                 |                  | 18,1"         | LM181E1         |          |
|                 |                  | 18,1"         | LM181E3-A2      |          |
|                 |                  | 18,1"         | LM181E3-A3      |          |
|                 |                  | 19"           | LM190E01        |          |
|                 |                  | 19"           | LM190E02        |          |
|                 |                  | 19"           | LM190E05        |          |
|                 |                  | 22"           | LM220WE1        |          |
|                 | 22"              | LM220W1       |                 |          |
|                 | 4008888215       | 15"           | LM150X08-SA     |          |
|                 |                  | 15,1"         | LC151X01-A3     |          |
|                 |                  | 4008888306    | 18,1"           | LM181E06 |
|                 |                  |               | 18,1"           | LM181E05 |
| 20,1"           |                  |               | LM201U02        |          |
| 4008888325      | 20,1"            | LM201U03      |                 |          |
|                 | 20,1"            | LM201U04      |                 |          |
|                 | 20,1"            | LC201V02      |                 |          |
|                 | 20,1"            | LC201V2       |                 |          |
|                 | 23"              | LM230W01      |                 |          |

### Управление выходным напряжением

Выходной сигнал пьезоинверторов Zippy – это идеальная по форме синусоида, которая автоматически подстраивается под входное сопротивление лампы. Пьезоинверторы Zippy автоматически повышают или понижают выходное напряжение для компенсации изменений входного сопротивления, вызванных перепадами температуры. Это особо важно для экстремальных (-40...+85°C) условий эксплуатации. Как при низких, так и при высоких температурах ок-

ружающей среды пьезоинверторы Zippy будут автоматически поддерживать оптимальное согласование преобразователя и ЛЛХХ.

### Оптимальный температурный режим работы лампы

Наличие большого количества гармонических составляющих и несбалансированный пилообразный выходной сигнал «классических» инверторов способствуют повышенному нагреву лампы. Синусоидальный сигнал пьезоинвертора практически не содержит гармоник, а функция ав-

томатической подстройки понижает рабочее напряжение лампы при повышении её температуры. Этим достигается оптимальный тепловой режим при более низкой рабочей температуре лампы.

### Защита схемы в случае неисправности лампы

Схема защиты цепи неисправной лампы будет выключать и блокировать в случае отказа одну-единственную неисправную лампу без влияния на другие. Данная функция особенно важна для ответственных во-

Таблица 4. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы NEC

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер           | Модель монитора      |
|-----------------|------------------|------------------|----------------------|
| 1 лампа         | 4008888010       | 15,3"            | NL10276BC30-21A      |
|                 |                  | 14,1"            | NL10276BC28-21A      |
|                 |                  | 14,1"            | NL10276BC28-21E      |
|                 |                  | 14,1"            | NL10276BC28-21F      |
|                 | 4008888047       | 13,3"            | NL10276BC26-09       |
|                 |                  | 12,1"            | NL8060BC31-01        |
|                 | 4008888048       | 12,1"            | NL8060BC31-01        |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448AC33-13        |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448AC33-18A       |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448AC33-18A       |
| 2 лампы         | 4008888106       | 15,3"            | NL10276BC30-10       |
|                 |                  | 15,3"            | NL10276BC30-15       |
|                 |                  | 15,3"            | NL10276BC30-04F      |
|                 |                  | 14,1"            | NL10276BC28-05D      |
|                 | 4008888116       | 15,3"            | NL10276BC30-24D      |
|                 | 4008888136       | 6,5"             | NL6448BC20-08        |
|                 |                  | 6,5"             | NL6448AC20-06        |
|                 | 4008888156       | 12,1"            | NL8060BC31-17 /D     |
|                 |                  | 12,1"            | NL8060BC31-20        |
|                 |                  | 12,1"            | NL10276BC24-13       |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448AC33-46        |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448AC33-31 /D     |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448AC33-29        |
|                 |                  | 10,4"            | NL10276BC20-04/E     |
|                 |                  | 10,4"            | NL8060BC26-27        |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448BC33-59/59D    |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448BC33-31 /46 /D |
|                 |                  | 10,4"            | NL6448BC33-54/50/53  |
| 9"              |                  | NL8048BC24-01    |                      |
| 8,4"            |                  | NL6448BC26-01/03 |                      |
| 6,5"            |                  | NL6448BC20-08E   |                      |
| 12,1"           |                  | NL8060BC31-41D   |                      |
| 12,1"           |                  | NL8060BC31-32    |                      |
| 12,1"           |                  | NL8060BC31-28D   |                      |
| 12,1"           |                  | NL8060BC31-27    |                      |
| 8,4"            |                  | NL8060BC21-03    |                      |
| 8,4"            |                  | NL8060BC21-02    |                      |
| 10,4"           | NL6448BC33-63D   |                  |                      |
| 10,4"           | NL6448BC33-64    |                  |                      |
| 8,4"            | NL6448BC26-09    |                  |                      |
| 6,5"            | NL6448BC20-08D   |                  |                      |
| 6,5"            | NL6448BC20-20    |                  |                      |
| 6,5"            | NL6448BC20-18D   |                  |                      |
| 4 лампы         | 4008888215       | 15,3"            | NL10276BC30-17       |
|                 |                  | 15,3"            | NL10276BC30-18       |
| 6 ламп          | 4008888235       | 15,3"            | NL10276BC30-04D      |
|                 |                  | 21,3"            | NL204153BC21-02      |
|                 |                  | 21,3"            | NL204153BM21-01A     |
|                 |                  | 21,3"            | NL160120BC27-02      |
|                 |                  | 21,3"            | NL204153BM21-01      |
|                 |                  | 19"              | NL128102BC29-01      |
| 19"             | NL128102BM29-05A |                  |                      |

Таблица 5. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы Samsung

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер          | Модель монитора |
|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 лампа         | 4008888010       | 12,1"           | LTN121XJ-L02    |
|                 |                  | 14,1"           | LTN141XB-L02    |
|                 |                  | 14,1"           | LTN141X8-L01    |
|                 |                  | 14,1"           | LTN141X8-L01    |
|                 |                  | 15"             | LTN150XB-L03    |
|                 |                  | 15"             | LTN150P2-L01    |
|                 |                  | 15"             | LTN150U4-L01    |
|                 |                  | 15,4"           | LTN154X1-L02    |
|                 |                  | 15"             | LTN150P2-L01    |
|                 |                  | 15"             | LTN150U4-L01    |
|                 | 4008888030       | 7"              | LTC700WV-F01    |
|                 |                  | 3,5"            | LTS350Q1-PD1    |
|                 | 4008888047       | 5"              | LTS500Q1-GF3    |
|                 |                  | 10,4"           | LTN104S2-L01/-A |
|                 |                  | 10,6"           | LTN106WXGA      |
|                 |                  | 10,6"           | LTN106W2-L01    |
|                 |                  | 12,1"           | LTN121XU-01     |
|                 |                  | 12,1"           | LTN121X1-L01    |
| 4008888048      | 12,1"            | LT121S2-105 /W1 |                 |
|                 | 12,1"            | LT121S2-105 /W1 |                 |
| 2 лампы         | 4008888106       | 15"             | LTM150X0-L01    |
|                 |                  | 15"             | LTM150XS-T01    |
| 4 лампы         | 4008888205       | 15"             | LTM150XH-T01    |
|                 |                  | 15"             | LTM150XH-L01    |
|                 |                  | 15"             | LTM150XH-L04    |
|                 |                  | 15"             | LTM150XH-L06    |
|                 |                  | 15,3"           | LTM153W1-L01    |
|                 |                  | 17"             | LTM170EU-L11    |
|                 |                  | 17"             | LTM170E5-L01    |
|                 |                  | 17"             | LTM170E5-L03    |
|                 |                  | 17"             | LTM170E6-L02    |
|                 |                  | 17"             | LTM170EU-L01    |
|                 |                  | 17"             | LTM170E4-L01    |
|                 |                  | 17"             | LTM170E6-L04    |
| 6 ламп          | 4008888225       | 17"             | LTM170EU-A01    |
|                 |                  | 17"             | LTM170EU-L11    |
|                 |                  | 17"             | LTM170EH-L01    |
|                 |                  | 17"             | LTM170W1-L01    |
|                 |                  | 18,1"           | LT181E4-L01     |
|                 |                  | 19"             | LTM190E1-L01    |
| 4008888325      | 4008888325       | 19"             | LTM190E1-L03    |
|                 |                  | 19"             | LTM190EX-L01    |
|                 |                  | 19"             | LTM190E1-L01    |
|                 |                  | 20,1"           | LTM201M1-L01    |

Таблица 6. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы Sharp

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер     | Модель монитора |                |             |
|-----------------|------------------|------------|-----------------|----------------|-------------|
| 1 лампа         | 4008888010       | 15"        | LQ150X1LHC3     |                |             |
|                 |                  | 15"        | LQ150X1LH62     |                |             |
|                 |                  | 15"        | LQ150X1LGN2A    |                |             |
|                 |                  | 5"         | LQ050Q5DR01     |                |             |
|                 |                  | 5"         | LQ5AW136        |                |             |
|                 |                  | 5,6"       | LQ056A3CH01     |                |             |
|                 | 4008888030       | 4008888030 | 5,7"            | LQ057Q3DC02/12 |             |
|                 |                  |            | 5,8"            | LQ058T5DR01    |             |
|                 |                  |            | 6,5"            | LQ065T9DZ01    |             |
|                 |                  |            | 6,5"            | LQ065T9BR51    |             |
|                 |                  |            | 6,5"            | LQ065T9DR53U   |             |
|                 |                  |            | 8"              | LQ080T5GG01    |             |
|                 |                  |            | 8"              | LQ080V3DG01    |             |
|                 |                  |            | 3,8"            | LM038QC1T10    |             |
|                 |                  |            | 5,7"            | LQ057V3DG01    |             |
|                 |                  |            | 12,1"           | LQ121S1LH02    |             |
|                 |                  |            | 3,8"            | LQ038Q5DR01    |             |
|                 |                  |            | 4,2"            | LQ042B5DG01    |             |
| 4,9"            | LQ049B5DG04      |            |                 |                |             |
| 5"              | LM5Q32           |            |                 |                |             |
| 5"              | LM050QC1T01      |            |                 |                |             |
| 5,7"            | LM057QC1T01      |            |                 |                |             |
| 10,4"           | LM10V332         |            |                 |                |             |
| 10,4"           | LQ10D368         |            |                 |                |             |
| 12,1"           | LM32019P         |            |                 |                |             |
| 12,1"           | LM32019T         |            |                 |                |             |
| 2 лампы         | 4008888106       | 4008888106 | 12,1"           | LQ121S1DG11    |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ15X01W       |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ150X1DG11    |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ150X1DG16    |             |
|                 | 4008888116       | 4008888116 | 4008888116      | 6,4"           | LQ064V3DG01 |
|                 |                  |            |                 | 6,4"           | LQ064V3DG02 |
|                 | 4008888131       | 4008888131 | 4008888131      | 7"             | LQ070T5DR01 |
|                 |                  |            |                 | 6,4"           | LQ64D343    |
|                 | 4008888136       | 4008888136 | 4008888136      | 10,4"          | LQ104V1DG21 |
|                 |                  |            |                 | 7"             | LQ070T5DR01 |
|                 | 4008888137       | 4008888137 | 4008888137      | 10,4"          | LQ104S1DG21 |
|                 |                  |            |                 | 10,4"          | LQ104S1LG21 |
| 10,4"           |                  |            |                 | LQ104V1DG51/61 |             |
| 10,4"           |                  |            |                 | LQ104V1DW02    |             |
| 4008888146      | 4008888146       | 4008888146 | 8,4"            | LQ084S3DG01    |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ150X1LGB1    |             |
| 4 лампы         | 4008888205       | 4008888205 | 15"             | LQ150X1DG51    |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ150X1LW71    |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ150X1LW71N   |             |
|                 |                  |            | 15"             | LQ150X1LW72N   |             |
|                 |                  |            | 17"             | LQ170E1LG11    |             |
|                 |                  |            | 19,0"           | LQ190E1LW01    |             |
| 6 ламп          | 4008888306       | 4008888306 | 18,1"           | LQ181E1LW31    |             |
|                 |                  |            | 18,1"           | LQ0DZA0011     |             |
|                 |                  |            | 20,1"           | LQ201U1LW01    |             |
|                 |                  |            | 20,1"           | LQ201U1LW11    |             |
|                 |                  |            | 20,1"           | LQ201U1LW01    |             |
|                 |                  |            | 23,1"           | LQ231U1LW01    |             |

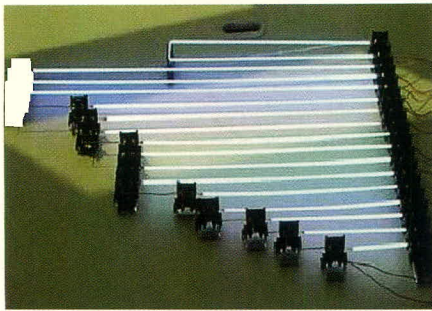


Рис. 5. Работа различных ламп подсветки от одного инвертора

енных и медицинских применений, для управления промышленными объектами, в авиации, мореплавании и т.д.

Таблица 7. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы Prime View

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер     | Модель монитора |            |
|-----------------|------------------|------------|-----------------|------------|
| 1 лампа         | 400888010        | 7,0"       | PM070WX1-1      |            |
|                 |                  | 7,0"       | PM070XS1        |            |
|                 |                  | 7,0"       | PW070XS2        |            |
|                 |                  | 7,0"       | PW070XS7        |            |
|                 |                  | 8"         | PW080XS1        |            |
|                 |                  | 8,4"       | PW084XS1        |            |
|                 |                  | 8,4"       | PW084XS2        |            |
|                 |                  | 9"         | PW090XS1        |            |
|                 | 10,4"            | PD104SL6   |                 |            |
|                 | 400888047        | 4,2"       | PM0420X1        |            |
|                 |                  | 4,5"       | PW045XS1        |            |
|                 |                  | 5,0"       | PA050DS1/XS1    |            |
|                 |                  | 6,4"       | PA064DS1/DS2    |            |
|                 |                  | 6,5"       | PW065XS4        |            |
|                 |                  | 7,0"       | P070XU3         |            |
|                 |                  | 10,4"      | PD104SL1        |            |
|                 |                  | 10,4"      | PW065XS1        |            |
|                 | 10,4"            | V26L8060AA |                 |            |
|                 | 400888048        | 3,5"       | PA0350XSE       |            |
|                 |                  | 5,0"       | PA050DS2        |            |
|                 |                  | 6,4"       | PD064VT2        |            |
|                 |                  | 6,5"       | PW065XS1        |            |
|                 |                  | 7,0"       | PW070DS1T1      |            |
|                 |                  | 7,0"       | PW070DS1        |            |
|                 | 7,0"             | P070DS1T1  |                 |            |
|                 | 2 лампы          | 400888132  | 10,4"           | PD104ST1   |
|                 |                  | 400888136  | 6,4"            | V16C6448AC |
|                 |                  |            | 6,4"            | V16C6448AF |
| 6,4"            |                  |            | V16C6448AE      |            |
| 6,4"            |                  |            | V16C6448AB      |            |
| 6,4"            |                  |            | PD064VT4        |            |
| 6,4"            |                  |            | PD064VT5N1      |            |
| 6,4"            |                  |            | PD064VT5        |            |
| 7,9"            |                  |            | PA079DS1T1      |            |
| 7,9"            |                  | PA079DS1   |                 |            |
| 400888137       |                  | 10,4"      | PD104VT1        |            |
|                 |                  | 10,4"      | PD104VT2        |            |
|                 |                  | 10,4"      | PD104SL2        |            |
|                 |                  | 10,4"      | PD104SL5        |            |

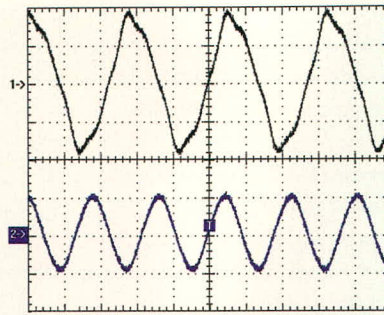


Рис. 6. Осциллограммы выходного напряжения 1-> традиционного и 2-> пьезоинвертора

**Универсальность**

Способность пьезоинверторов автоматически подстраиваться под изменение входного сопротивления

Таблица 8. Рекомендуемые модели инверторов для дисплеев фирмы Toshiba

| Количество ламп | Модель инвертора | Размер      | Модель монитора |             |
|-----------------|------------------|-------------|-----------------|-------------|
| 1 лампа         | 400888010        | 3,5"        | LTM035A776C     |             |
|                 |                  | 7,0"        | LTA070B311A01   |             |
|                 |                  | 8,4"        | LTM08C355S      |             |
|                 |                  | 12,1"       | LTD121EX1S      |             |
|                 |                  | 12,1"       | LTD141LA2S      |             |
|                 |                  | 15,4"       | LTD154EX0S (NB) |             |
|                 |                  | 15,4"       | LTD154LX0S      |             |
|                 |                  | 15,4"       | LTD154EZ0S      |             |
|                 |                  | 400888030   | 6,5"            | LTA065A043F |
|                 |                  |             | 6,5"            | LTA065A041F |
|                 | 400888047        |             | 5,6"            | LTD056ET0S  |
|                 |                  |             | 6,3"            | LTM06C310   |
|                 | 400888048        | 8,9"        | LTM09C362S      |             |
|                 |                  | 10,4"       | LTD104EA5S      |             |
|                 |                  | 8,4"        | LTM08C343S      |             |
|                 |                  | 400888106   | 10,4"           | LTA104A261F |
|                 | 10,4"            |             | LTA104A260F     |             |
|                 | 10,4"            |             | LTM10C209A      |             |
|                 | 10,4"            |             | LTM10C210       |             |
|                 | 12,1"            |             | LTM12C275A      |             |
| 12,1"           | LTM12C289        |             |                 |             |
| 2 лампы         | 400888116        | 12,1"       | LTD121GA0S      |             |
|                 | 400888136        | 10,4"       | LTM10C273       |             |
| 400888146       | 6,5"             | LTA065B0D0F |                 |             |
|                 | 8,4"             | LTM08C351S  |                 |             |
|                 | 8,4"             | LTM08C351L  |                 |             |
|                 | 10,4"            | LTD104C11S  |                 |             |
|                 | 12,1"            | LTD121C30S  |                 |             |
|                 | 12,1"            | LTD121C33S  |                 |             |
| 6 ламп          | 400888225        | 12,1"       | LTM12C285       |             |

ния нагрузки способствует их унификации для всех типов высоковольтных разрядных ламп (см. рис. 5). Один и тот же пьезоинвертор с широким диапазоном регулирования питает лампы различной длины: от 70 до 795 мм. Инвертор Zirru работает в режиме стабилизации тока. Напряжение питания будет автоматически подстраиваться под изменения импеданса лампы, вызванные различной длиной, диаметром, составом газа, ресурсом и рабочей температурой.

Пьезоинверторы с успехом можно использовать для питания ламп с холодным и горячим катодом, ламп с вторичной эмиссией, ультрафиолетовых ламп, генераторов отрицательных ионов, неоновых и специальных газонаполненных трубок, в том числе для военных применений.

На сегодняшний день компанией Zirru разработаны и успешно применяются различные варианты преобразователей для питания ламп подсветки дисплеев ведущих фирм-производителей ЖКИ. В таблице 1 приведены справочные данные инверторов. Процедура выбора инвертора для конкретной модели ЖК-дисплея подробно описана [5]:

- уточняется наименование модели ЖК-дисплея;
- выбирается тип люминесцентной лампы;
- анализируются требуемые характеристики ЛЛХК (напряжение зажигания лампы, рабочее напряжение, ток лампы, частота и т.д.);
- проверяются условия реализации (безопасность, распределённая ёмкость и т.д.);
- выбирается наиболее подходящий по конструктивному исполнению и параметрам инвертор.

Для удобства можно также воспользоваться предлагаемыми в таблицах 2–8 вариантами инверторов, в зависимости от фирмы-изготовителя и типа монитора.

**Высокая яркость**

Весомым аргументом в защиту традиционных инверторов может быть кажущаяся меньшая яркость свечения ЛЛХК при их работе от пьезоинверторов. Однако проведённые испытания опровергают это мнение.

При питании ЛЛХК одинаковым током верхняя осциллограмма (см. рис. 6)

представляет собой напряжение на лампе от традиционного инвертора, нижняя – при питании от пьезоинвертора Zipru. Видно, что выходной сигнал пьезоинвертора Zipru – правильная синусоида; у традиционного инвертора – сигнал треугольной формы. Действующее значение напряжения для пьезоинвертора Zipru составляет  $1050 \times 0,707 = 742$  В, для традиционного инвертора  $1900 \times 0,707 = 1343$  В. Тогда ЖК-панель потребляет соответственно  $1343 \text{ В} \times 5,7 \text{ мА} = 7,7$  Вт с традиционным инвертором и  $742 \text{ В} \times 5,7 \text{ мА} = 4,4$  Вт с инвертором Zipru.

Увеличив ток лампы с 5,7 мА до 7 мА, можно достичь той же яркости свечения. При этом суммарная потребляемая мощность будет на 33% меньше, чем с традиционным инвертором:

$$742 \text{ В} \times 7 \text{ мА} = 5,2 \text{ Вт},$$

$$[(7,7 - 5,2)/7,7] \times 100 = 33\%.$$

Известно, что оптимальное эффективное напряжение питания

лампы не должно превышать 1150 В. Традиционные инверторы обеспечивают выходное напряжение на 17% выше максимально допустимого, тогда как у инверторов Zipru это значение на 36% ниже допустимого. Идеальный выходной синусоидальный сигнал и запатентованный метод амплитудно-токовой подстройки позволяют достигать беспрецедентного уровня яркости подсветки без специальных схем и регулировок.

#### UL Approved

Все пьезоинверторы Zipru одобрены к применению и аттестованы (с отметкой UL Approved), а также имеют варианты исполнения в соответствии с нормами RoHS.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня объём продаж устройств с пьезокерамическими трансформаторами составляет более 20 млн. шт. в год, и эта цифра постоянно растёт. Например, в Японии – на 10% ежегодно. Прогресс не стоит на месте, и,

может быть, на смену пьезоинвертору и ЛЛХК придут светодиоды, изготовленные по нанотехнологиям, а ЖКИ, подобно кинескопам, уйдут в прошлое. Однако сам принцип работы пьезокерамического преобразователя ещё не один раз послужит человеку.

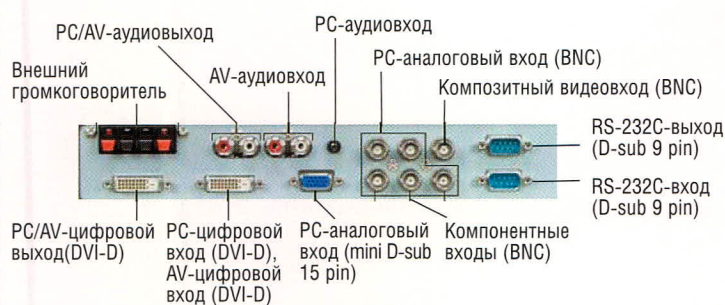
#### ЛИТЕРАТУРА

1. Carazo A. 50 Years of Piezoelectric Transformers. Trends in the Technology. Research & Development, Face Electronics, LC United States [http://www.mrs.org/s\\_mrs/index.asp](http://www.mrs.org/s_mrs/index.asp).
2. Крылов Е. Подсветка ЖК-дисплеев. [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01\\_06/stat\\_18.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_06/stat_18.htm).
3. Климашин В.М. и др. Новые области применения пьезотрансформаторов. Компоненты и технологии. 2004. № 1.
4. Информационные материалы компании ZIPPY Technology Corporation. <http://www.zippy.com.tw>.
5. Жданкин В.К. DC/AC-инверторы для жидкокристаллических дисплейных панелей. Современные технологии автоматизации. 2005. № 4.



## УБЕДИТЕСЬ В ПРЕВОСХОДСТВЕ Full HD – профессиональных мониторов 46 - 65 дюймов

- **Разрешение экрана Full HD 1920x1080**  
фирменная технология ASV Black TFT
- **Разработано для коммерческой эксплуатации**  
впервые безвентиляторное охлаждение, работа 24/7
- **Простота обслуживания**  
удалённая диагностика через порт RS-232C
- **Полный комплект коммерческих приложений**  
изменение размера изображения: видеостены, PIP, PbyP



ПРОСОФТ — официальный дистрибьютор компании SHARP в России и странах СНГ

# PROSOFT®

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

# Высоковольтный импульсный источник питания большой мощности с управлением от микропроцессора

(часть 1)

Евгений Владимиров, Владимир Ланцов,  
Ольга Лебедева (Санкт-Петербург)

В статье дан обзор высоковольтных импульсных модуляторов для питания СВЧ-приборов (клистронов, магнетронов) и рентгеновских трубок. Наибольшее внимание уделено высоковольтным модуляторам, которые чаще называются импульсными высоковольтными источниками питания (ВИП). Рентгеновская трубка, как специфический тип нагрузки, определяет существенные особенности построения и работы таких устройств. В публикации приведены схемы ВИП для питания рентгеновских трубок, в том числе с микропроцессорным управлением, отмечены особенности функционирования ВИП, его устройств и компонентов, описан алгоритм управления.

## Высоковольтные импульсные модуляторы большой мощности

Для питания мощных СВЧ-приборов (магнетронов и клистронов) широко используются импульсные модуляторы. Основная особенность известных схем модуляторов – применение вторичных источников электропитания с напряжением, равным амплитуде выходного импульса, т.е. высоковольтных источников питания.

В [1] описан модулятор мощного клистрона 5045 с ключевым элементом – тиратроном ТГИ1-5000/50. Источник имеет следующие параметры:

Выходное импульсное напряжение ...23 кВ  
Ток в импульсе, при длительности импульса 100...120 мкс .....6 кА;  
Средняя мощность .....около 10 кВт.

Схема модулятора [1] приведена в упрощённом виде на рис. 1. Она основана на принципе частичного разряда накопительного конденсатора (формирующей линии), подзаряжаемого в промежутках между импульсами от источника питания с тиристорным регулятором VD1 – VD3 на входе. Недостатки таких модуляторов для промышленных установок очевидны: громоздкий высоковольтный трансформатор TV1 (трёхфазный, низкой частоты

50/60 Гц), высоковольтный накопительный конденсатор, недолговечный ключевой прибор – тиратрон, потери энергии на нагрев зарядного резистора.

Появившиеся в последнее время публикации [2] описывают модуляторы, где вместо газоразрядных приборов применены полупроводниковые ключевые элементы. Такое решение позволяет повысить долговечность модулятора и перейти к современной промышленной реализации.

Рентгеновская трубка (РТ) как специфический тип нагрузки определяет существенные особенности построения и работы устройств. В 1990 гг. специалистами НПП «Буревестник» (Санкт-Петербург) при проектировании ВИП для питания РТ (ВИП РТ) была сделана попытка упростить схему высоковольтного модулятора. При этом необходимо было сделать её более надёжной, совместив ключевой элемент с нагрузкой. Этот приём привел к созданию трёхэлектродной РТ типа БХВ-18 [3] и на её основе ВИП РТ с сеточной модуляцией. Технические характеристики мощных рентгеновских трубок приведены в таблице 1.

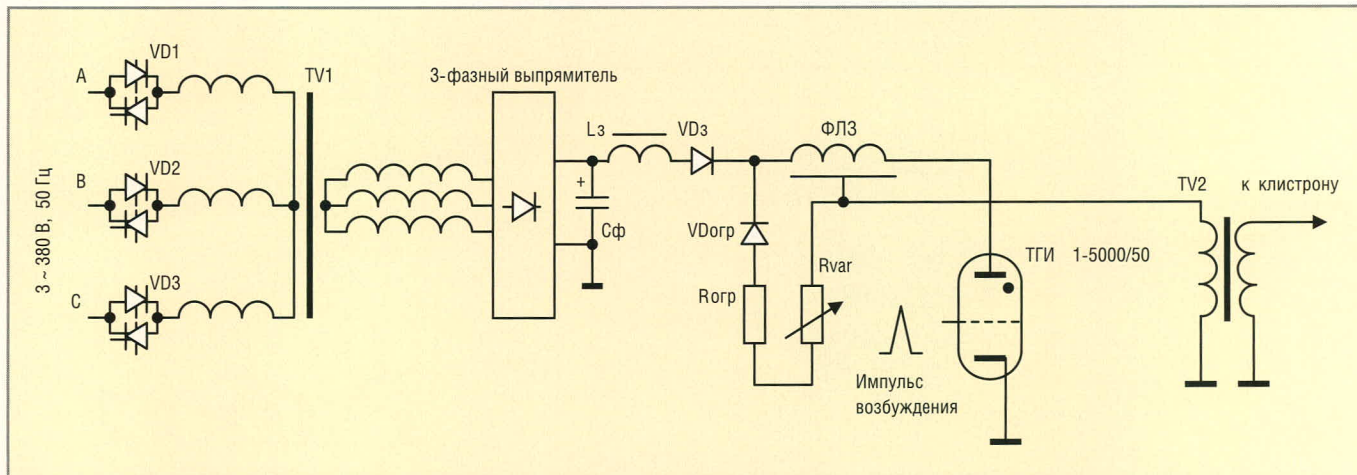


Рис. 1. Схема модулятора с тиратроном ТГИ1-5000/50 в качестве ключевого элемента

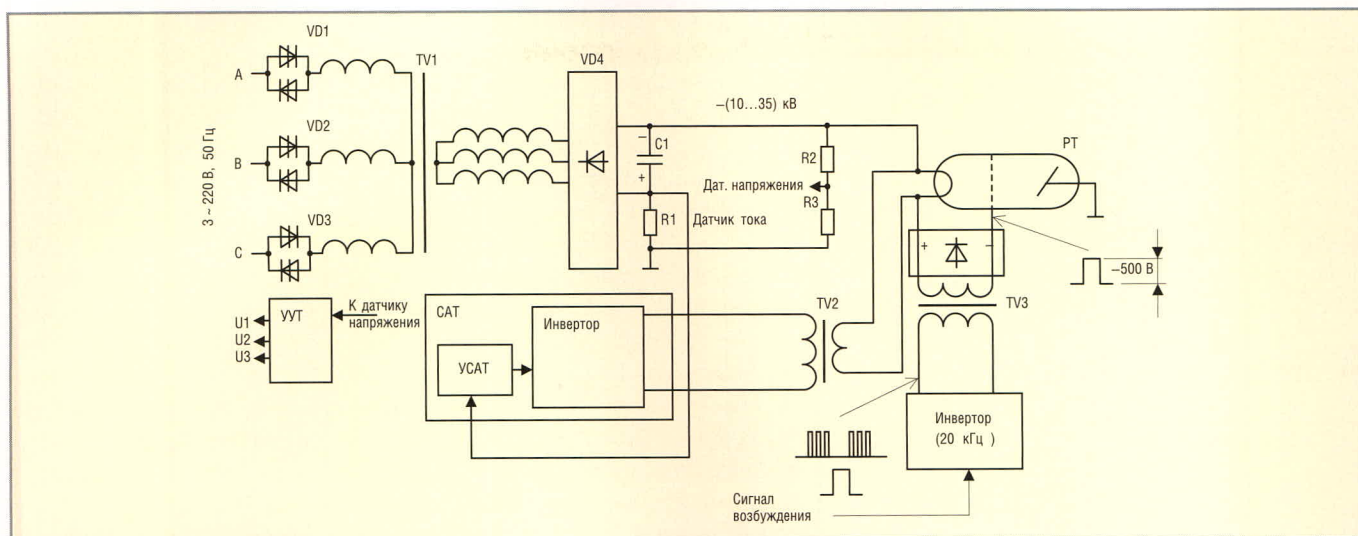


Рис. 2. Структурная схема ВИП РТ с сеточной модуляцией

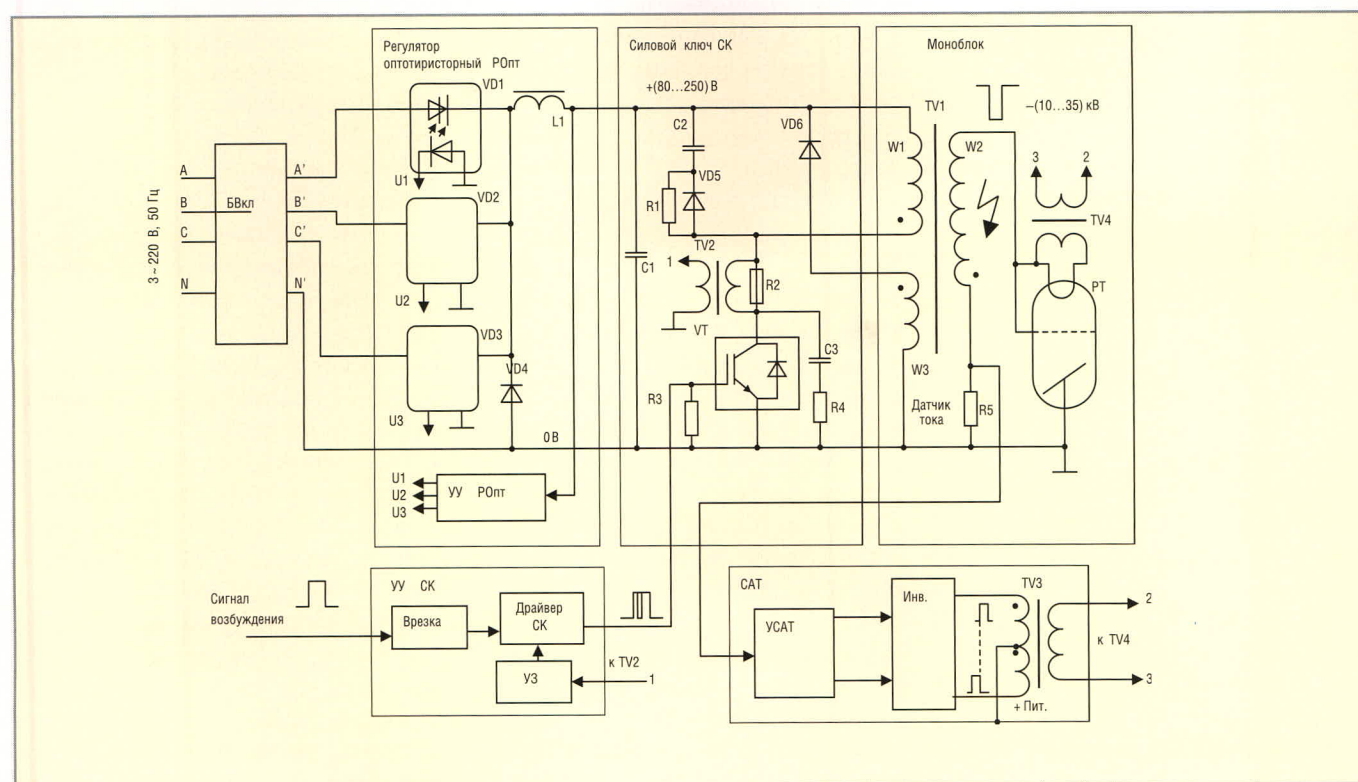


Рис. 3. Схема ВИП РТ типа ВИП-35-350 с катодной модуляцией

Структурная схема такого ВИП, некоторое время выпускавшегося в составе серийных сепараторов алмазов, приведена на рис. 2. ВИП содержит управляемый высоковольтный источник питания постоянного тока с тиристорным регулятором VD1 – VD3 и высоковольтным трансформатором TV1, аналогичным упомянутому [1]. Отрицательный высоковольтный вывод источника подсоединён к катоду рентгеновской трубки, а положительный – к заземлённому аноду. Между катодом и сеткой трубки включены источник смещения и трансформатор TV3 для подачи управляющих импульсов, причём эти элементы нахо-

дятся под высоким потенциалом катода. Оба описанных решения – применение полупроводниковых вентилей и использование вентильных

свойств нагрузки – не устраняют недостатков известных модуляторов. Главный из недостатков – необходимость использования мощного ис-

Таблица 1. Технические характеристики мощных рентгеновских трубок

| Характеристика  | БХВ-6     | БХВ-18      |
|---|-----------|-------------|
| Максимальное напряжение анод – катод, кВ                                      | 50        | 35          |
| Максимальный ток анода, мА:<br>- длительный номинальный режим<br>- в импульсе | 100       | 100<br>350  |
| Максимальная мощность, кВт:<br>- в длительном режиме<br>- в импульсе          | 5<br>-    | 3,5<br>12,3 |
| Максимальный ток накала, А  | 5,0       | 3,4         |
| Максимальное напряжение накала, В   | 15        | 23          |
| Напряжение запирающего сетки катод (отрицательное), В                         | Сетки нет | 500         |

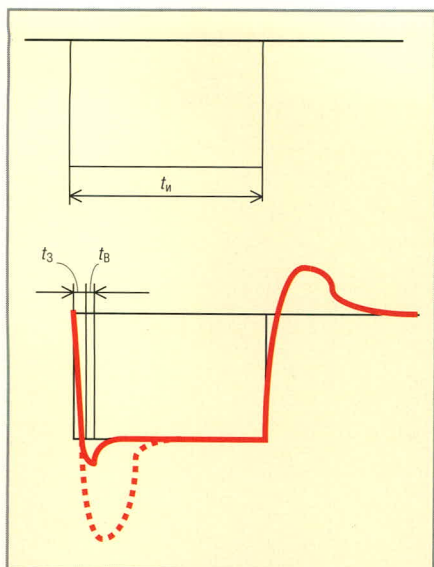


Рис. 4. Формирование «врезки»

точника высокого напряжения постоянного тока.

### Высоковольтный импульсный источник питания рентгеновской трубки с анодной модуляцией

Для улучшения массогабаритных показателей ВИП была применена анодная модуляция РТ через мощный импульсный трансформатор. Правильнее назвать её катодной модуляцией, поскольку анод в отечественных РТ обычно заземляется. Схема ВИП РТ типа ВИП-35-350 с катодной модуляцией показана на рис. 3. ВИП РТ типа ВИП-35-350 включает в себя:

- блок включения БВкл, работающий от трёхфазной сети;
- трёхфазный оптоэлектронный регулятор (РОпТ) с выпрямителем переменного тока  $3 \times 220$  В, 50 Гц;
- силовой ключ (СК) на IGBT-модуле (VT);
- высоковольтный импульсный трансформатор (ТВ1);
- устройство управления силовым ключом (УУСК);
- стабилизатор анодного тока (САТ);
- цепи обратной связи и контроля высокого (анодного) напряжения  $U_a$  и анодного тока  $I_a$ .

Для обеспечения электробезопасности и надёжности в реальных условиях эксплуатации высоковольтный трансформатор ТВ1, накальный трансформатор ТВ4, цепи обратной связи (контроля) и рентгеновская трубка (БХВ-18) конструктивно размещены в так называемом моноблоке. Моноблок, наполненный трансформаторным маслом, обеспечивает высокую степень электроизоляции и эффективный отвод тепла. Подробнее конструкция моноблока будет описана ниже.

Напряжение трёхфазной сети переменного тока  $3 \times 220$  В, 50 Гц поступает в схему через БВкл, содержащий устройства контроля напряжения сети, коммутации сети и фильтрации сетевых электромагнитных помех. В схеме ВИП-35-350 (см. рис. 3) имеются два отдельных контура регулирования: по выходному (анодному) току – САТ и выходному высокому анодному напряжению  $U_a$  – СВН. Регулирование и стабилизация  $U_a$  осуществляется оптоэлектронным регулятором-выпрямителем (РОпТ). В РОпТ силовые оптоэлектронные VD1 – VD3 через фильтр L1C1 работают на нагрузку, в качестве которой выступает высоковольтный инвертор, состоящий из силового ключа (СК) и высоковольтного трансформатора (ТВ1).

Фазовая отсечка VD1 – VD3 создаётся устройством управления (стабилизации) УУРОпТ. Регулятор-выпрямитель РОпТ выдаёт на выходе стабильное напряжение постоянного тока, регулируемое в пределах 80...250 В. Силовой импульсный трансформатор ТВ1, размещённый в моноблоке, служит нагрузкой СК. В качестве СК первоначально использовался IGBT-модуль BSM300GA120DN2 (1200 В, 300А, 2500 Вт) фирмы Infineon [4], а затем его полный отечественный аналог МТКИ2-12-300 [5]. Подробные характеристики IGBT-модулей BSM300GA120DN2 и МТКИ2-12-300 приведены в таблице 2. Обмотки ТВ1: W1 – первичная, W2 – высоко-

вольтная, W3 –размагничивающая. Первичная обмотка W1 трансформатора включена в коллекторную цепь СК, в котором использован IGBT-модуль. В СК предусмотрена «обвязка» IGBT, предназначенная для защиты от пиковых высокочастотных выбросов напряжения на коллекторе. Она состоит из демпфера R4, C3, включенного между коллектором СК и нулевым проводом, и снаббера C2, R1, VD5, включенного параллельно первичной обмотке W1. Трансформатор тока TV2, шунтированный резистором R2, выполняет функцию формирования сигнала перегрузки СК по току, который подаётся в устройство защиты УЗ в УУСК. Драйвер собственной разработки СК в УУСК подаёт на затвор IGBT управляющие импульсы амплитудой 14 В и частотой 250 Гц. Длительность импульса составляет 500 мкс, скважность – 8.

Передача импульсов через силовой трансформатор ведёт к существенным искажениям их формы. Причина искажений – паразитные свойства трансформатора. Эквивалентная схема импульсного трансформатора достаточно подробно описана [6]. Поэтому затронем только наиболее «неприятные» искажения формы импульса напряжения на вторичной высоковольтной обмотке трансформатора. Прежде всего, это выброс напряжения на вершине импульса и обратный выброс напряжения на заднем фронте, т.е. при закрывании (выключении) СК. Последний выброс связан с передачей в нагрузку энергии, определяемой как индуктивности рассеяния трансформатора. Для уменьшения амплитуды выброса применён стандартный приём: в трансформатор введена дополнительная размагничивающая (рекуперативная) обмотка W3. Число витков этой обмотки значительно больше числа витков первичной обмотки ( $W3 > W1$ ). Через W3 энергия «сбрасывается» в источ-

Таблица 2. Характеристики IGBT-модулей BSM300GA120DN2 и МТКИ2-12-3

| Наименование (фирма)                    | $U_{CES}$ , В | $I_C (U_C^*)$ , А | $P_D (P_{CEmax})$ , Вт | $U_{CE(sat)}$ , В | $t_{don}/t_f/t_{dff}$ , мкс /IGBT | Диоды               | $E_{tot}, E_{off}$ , мДж | Корпус (тип, размеры, мм) |
|---|---------------|-------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|
| BSM300GA120DN2 (Infineon/Siemens)       | 1200          | 400 (800*)        | 2500                   | 3,3               | 0,27/0,85                         | Обратный            |                          | M11                       |
| МТКИ2-300-12 (ОАО «Электровыпрямитель») | 1200          | 300 (600*)        | 2500                   | 3,5               | 0,27/0,85                         | То же               |                          | M11                       |
| SKM300GAL128D (Semikron)                | 1200          | 370 (740)         | 2500                   | 2,35              | 0,22/0,72                         | Обратный; свободный | 22 (22)                  | 94,5 × 34,5 × 29,5        |

Таблица 3. Типичные значения длительности задержки и ширины врезки

| Параметр   | Длительность импульса возбуждения $t_{и}$ , мкс |                         |
|--|---|-------------------------|
|  | 500 (при частоте 250 Гц)                        | 100 (при частоте 2 кГц) |
| Задержка относительно переднего фронта $t_3$ , мкс | 27  | 8...10                  |
| Длительность $t_{в}$ , мкс                         | 9...10  | 3...3.5                 |

ник питания СК с помощью высоковольтного быстродействующего диода VD6.

Для подавления выброса на переднем фронте, который может приводить к пробоем нагрузки (РТ), применен оригинальный приём [7]. Он заключается в придании специфической формы импульсу управления СК. С некоторой задержкой относительно начала импульса управления СК производится кратковременное выключение СК, которое условно назовём «врезкой». Формирование «врезки» пояснено на рис. 4. Сигнал возбуждения в виде импульса длительностью  $t_{и}$  поступает на УУСК, в котором формируется интервал задержки  $t_3$  и интервал собственно «врезки»  $t_{в}$ . Выброс на вершине импульса на высоковольтной обмотке трансформатора TV1, определяемый индуктивностью рассеяния для случая отсутствия «врезки», показан пунктирной линией, а при наличии «врезки» – сплошной. Длительность «врезки» и её задержка относительно начала управляющего импульса настраиваются по минимуму выброса в устройстве управления СК, исходя из параметров импульсного трансформатора. При правильной настройке такой приём существенно снижает амплитуду выброса. Типичные значения длительности задержки и ширины врезки приведены в таблице 3.

Необходимо остановиться ещё на одной проблеме ВИП с катодной модуляцией через импульсный трансформатор. Эта проблема – измерение амплитуды импульсов напряжения и тока нагрузки. Типичным решением здесь является интегрирование импульсного сигнала от датчика тока R5 или делителя высокого напряжения и затем измерение средних значений прибором постоянного тока. Недостаток такого решения – зависимость результата от частоты следования и длительности импульсов.

Контур управления и стабилизации тока  $I_a$  выполнен в отдельном

модуле – САТ на основе двухтактного инвертора (Инв). Инвертор управляется противофазными импульсами одинаковой длительности с постоянной частотой 10 кГц. Импульсы следуют с небольшой паузой (квазимерандр). Изменение выходного напряжения инвертора производится изменением напряжения питания Инв при действии обратной связи по току  $I_a$  (амплитудная модуляция). Стабилизация  $I_a$  осуществляется за счёт изменения величины тока накала РТ. В качестве источника питания силовой цепи САТ для ускорения проектирования был выбран имевшийся в распоряжении низкочастотный ИВЭ с выходной мощностью до 120 Вт и возможностью регулирования его напряжения внешним сигналом в пределах 20...80 В.

Для непосредственного питания цепи накала РТ служит высокопотенциальный накальный трансформатор TV2, размещённый в высоковольтной части ВИП – моноблоке.

ВИП-35-350 для питания рентгеновской трубки БХВ-18 или трубки аналогичного типа имеет следующие характеристики:

Питание от сети переменного тока .....3 × 220 В, 50 Гц  
 Выходное высокое напряжение в импульсе .....– 10...–35 кВ  
 Выходной анодный ток .....20...370 мА

Максимальная выходная импульсная мощность .....12 кВт  
 Максимальная выходная средняя мощность .....1,5 кВт  
 Частота следования импульсов ...250 Гц  
 Сквозность .....8  
 Управление ...ручная установка выходных значений высокого (анодного) напряжения и тока  
 Импульсное возбуждение .....внешнее  
 Габариты моноблока с установленной РТ, мм ...460 × 215 × 300  
 Габариты блока управления, мм ...480 × 460 × 270

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов А.В. и др. Вопросы атомной науки и техники. 2001. № 3. Сер.: Ядерно-физические исследования (38). С. 93–94.
2. Полищук А.Г. Вопросы разработки твердотельных импульсных модуляторов для электровакуумных приборов СВЧ. Современная электроника. 2005. № 3.
3. Иванов С.А., Шукин Г.А. Рентгеновские трубки технического назначения. Ленинград: Энергоатомиздат. 1989.
4. <http://www.infineon.com>.
5. Каталог изделий ЗАО «Электровыпрямитель», 2006.
6. Ланцов В.В., Эраносян С.А. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. Часть 3. Силовая электроник. 2007. № 2.
7. Генератор импульсов высокого напряжения. Свидетельство РФ № 8547. В.М. Потапов, Л.И. Богашев, М.В. Бабенков. 1998.
8. Блоки питания GENESYS/GEN300-5. <http://www.lambda-emi.com>.
9. Информационный диск фирмы Semikron «Каталог продукции 2006–2007». ©



Дисплеи фирмы KENT DISPLAYS позволяют сократить энергопотребление устройств более чем на 50 %, за счет уникальной технологии. Потребление энергии сокращается за счет «запоминания» картинки на дисплее самим ЖК материалом, в результате энергия затрачивается только на регенерацию изображения.

Стандартные модули имеют следующие параметры:

- ~ размер активной площади по диагонали от 2,28 до 18,1 дюйма;
- ~ разрешение от 128 x 32 до 800 x 600 пикселей (20...127 dpi);
- ~ диапазон рабочих температур 0...70°C;
- ~ диапазон температуры хранения от –50...105°C;
- ~ при смене изображения расходуется энергия не более 190 мкДж;

Компания «АТОС» поставляет также продукцию Tyco Electronics, Dallas/Maxim, Samtec, Yamaichi, Power Integrations, Supertex, Cyan, Luminary Micro, АМТ и др.



г. Москва, Ул. Усиевича 24/2, Тел./ Факс: (495) 787-4805, (495) 601-2035, 601-2114 [www.atos.ru](http://www.atos.ru) [sales@atos.ru](mailto:sales@atos.ru)

# Открытый проект многоцелевого контроллера общего применения ARM-Dominator

(часть 2)

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

В этой части статьи приводится краткое описание архитектуры семейства STR91x, рассматриваются возможности цифровой обработки сигналов микроконтроллерами этого семейства и приводится обзор средств разработки. В качестве примера возможностей прибора рассматривается вариант передачи изображений через Интернет.

## Краткий обзор архитектуры STR91x

Напомним, что ядро ARM является микропроцессорной архитектурой, разработанной фирмой ARM. Фирма сама не производит чипов, но продаёт лицензии третьим фирмам на производство чипов с ядром ARM и делает это очень успешно. По оценкам аналитиков, микроконтроллеры с ядром ARM применяются более чем в 90% всех производимых мобильных телефонов. В самых успешных моделях, например iPhone фирмы Apple, можно насчитать не менее трёх ядер ARM, интегрированных в разные заказные чипы телефона.

Существует достаточно много семейств ARM-микропроцессоров: ARM7, ARM9, ARM10, ARM11, ARM Cortex и т.д. Семейства отличаются архитектурой, технологическими нормами, максимальной тактовой частотой и т.д. Система команд семейств совместима снизу вверх. По системе команд различаются архитектуры ARMv4, ARMv4T, ARMv5T, ARMv5TE, ARMv6, ARMv7. Каждая следующая архитектура имеет некоторые улучшения по сравнению с предыдущей. Нет прямого соответствия между номером семейства и номером архитектуры. С архитектурой v4T могут быть представители семейства и ARM7 и ARM9, а с архитектурой v5TE могут быть чипы семейства ARM9 и ARM10.

Ядро ARM966E-S чипов STR91x относится к семейству ARM9 и имеет архитектуру ARMv5TE. Буква E в идентификаторе архитектуры гово-

рит о наличии дополнительных DSP-инструкций. Семейство ARM9 отличается от предыдущего семейства ARM7 увеличенным количеством этапов конвейера выполнения инструкций с 3 до 5 и разделением шин для доступа к памяти инструкций и памяти данных.

Принятая фирмой ARM система лицензирования приводит к тому, что однокристалльные микроконтроллеры, разработанные на основе ARM, в структурном плане разделяются на ядро и окружающую его периферию. Ядро является собственностью фирмы ARM, и документацию о нём следует искать на сайте фирмы ARM, периферия же может быть как разработкой фирмы-производителя, так и разработкой ARM в разных пропорциях. В результате разработчик для полного освоения STR91x должен изучить:

- Справочное руководство по семейству ARM9E-S (ARM9E-S (Rev 2) Technical Reference Manual) с сайта фирмы ARM;
- Справочное руководство на ядро ARM966E-S (ARM966E-S (Rev 1) Technical Reference Manual) с сайта фирмы ARM;
- Справочное руководство по архитектуре ARM в части, касающейся архитектуры ARMv5TE (ARM v5TE Architecture Reference Manual), с сайта фирмы ARM;
- Техническое описание семейства STR91x с сайта фирмы STMicroelectronics
- Руководство по применению семейства STR91x с сайта фирмы STMicroelectronics.

STR91x, в дополнение, является устройством типа System-in-a-Package (SiP), т.е. в корпусе микроконтроллера содержится два кристалла — сам микроконтроллер и чип FLASH-памяти. Техническое описание FLASH-памяти также содержится в отдельном документе.

На рисунке 9 приведена блок-схема внутреннего устройства чипа STR912FW44. Семейство STR91x имеет ряд интересных отличительных особенностей, увеличивающих производительность чипов. Обычно для снижения влияния малой пропускной способности каналов памяти в процессорах используют кэш, но кэш может вносить чувствительные задержки при выборке новой линии кэша во время перехода к процедурам обработки прерываний. В STR91x вместо кэша применяется специальный интерфейс памяти с сильной связью Tightly-Coupled Memory interface (TCM) и аппаратная очередь предварительного выбранных инструкций совместно с кэшем инструкций переходов (Pre-fetch Unit and Branch Cache). В ARM966E-S реализовано два независимых TCM-интерфейса для инструкций (ITCM) и для данных (DTCM), и они обеспечивают доступ к памяти за один такт частоты ядра. Аппаратная очередь инструкций с кэшем переходов минимизирует задержки чтения из отстающей по скорости от ядра памяти типа FLASH.

Архитектура микроконтроллера с ARM-ядром значительно отличается от архитектур традиционных 8- и 16-разрядных микроконтроллеров, и прежде всего тем, что в ней используется иерархия внутренних шин, соединённых межшинными интерфейсами. Шины могут работать на разных частотах, за доступ к шинам могут конкурировать много внутренних модулей микроконтроллера, обмена данными по шинам могут за-

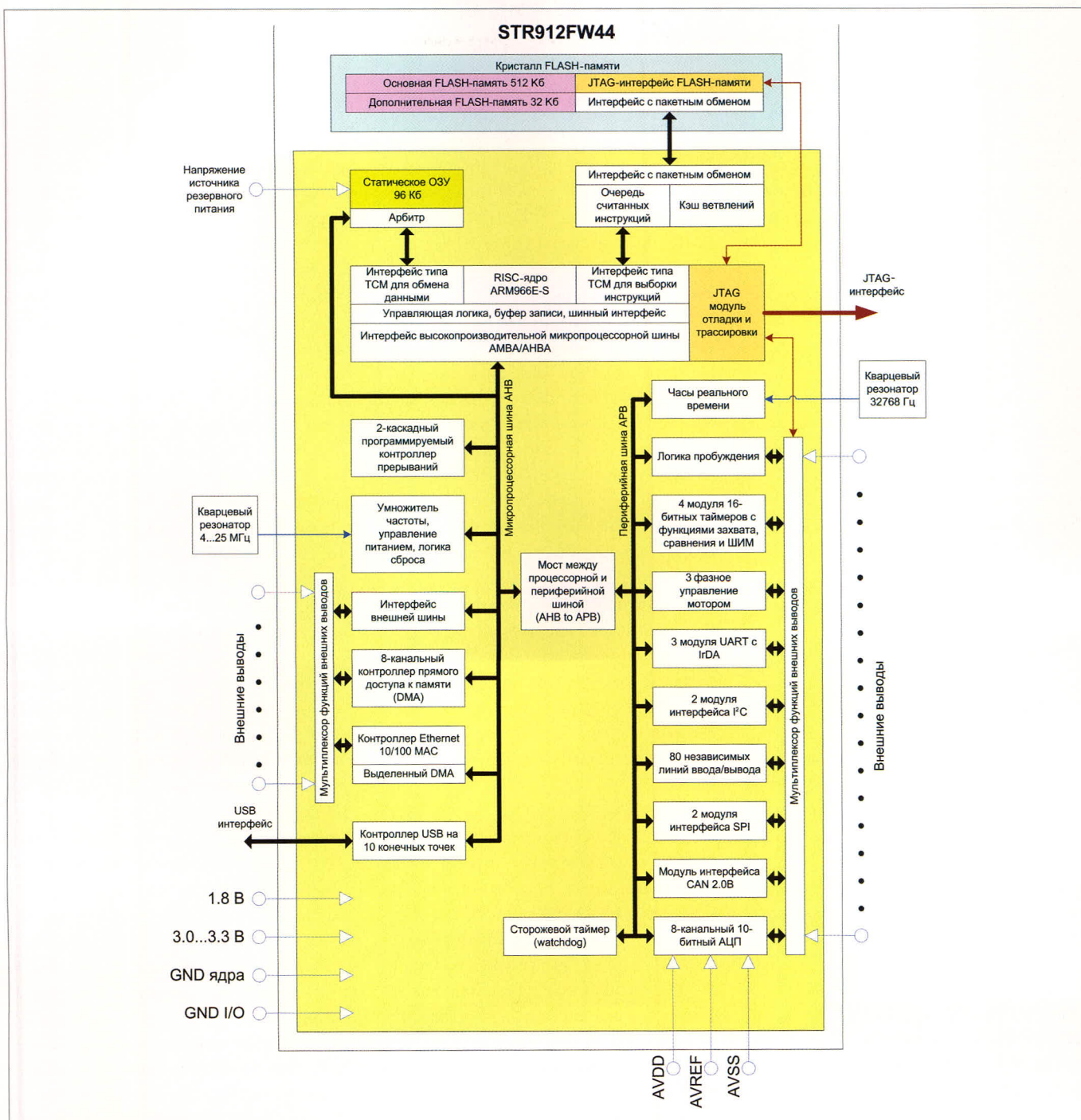


Рис. 9. Блок-схема чипа STR912FW44

канчиваться ошибками, за которыми нужно следить программными средствами. Это приводит к тому, что отсутствует строгий детерминизм времени выполнения инструкций, как это присуще простейшим микроконтроллерам. Во многом такое положение связано с высокими частотами, на которых работает ARM-ядро. На таких частотах уже не способна работать FLASH-память, такие частоты не нужны для работы сравнительно медленной периферии типа UART или I<sup>2</sup>C. Для медленной периферии в STR91x введена шина APB, для работы на максимальной скорости предна-

значена шина AHB. AHB-шина совместно с шиной TCM имеет доступ к внутреннему ОЗУ, избежать конфликтов между ними помогает арбитр доступа к ОЗУ. Инициировать обмен на шине AHB независимо от процессора также может контроллер прямого доступа к памяти (DMA). Приведённые выше замечания относительно шин важны, поскольку обычно в документации акцент на этом не делается, но корректная настройка параметров шинных интерфейсов очень важна для достижения максимальной производительности и надёжной работы чипов.

К другим особенностям чипов, не отражённых на блок-схеме, можно отнести:

- поддержка питания ОЗУ от резервного источника при выключении основного питания;
- встроенные часы реального времени с очень малым потреблением от резервного источника;
- наличие вывода для внешнего сигнала, по которому производится моментальное стирание всего внутреннего ОЗУ;
- специальная однократно-программируемая область памяти размером 30 байт, способная содержать

уникальный код, программируемый пользователем;

- защита FLASH-памяти от несанкционированного считывания с помощью блокировки определённых команд JTAG-интерфейса;
- 8-канальный контроллер DMA, способный автоматически обрабатывать связные списки дескрипторов;
- возможно выполнение инструкций из одного блока FLASH-памяти во время программирования другого;
- возможно задание в качестве стартового любого из двух блоков FLASH-памяти;
- тактирование ядра может осуществляться от низкочастотного кварцевого резонатора часов реального времени;
- питание любого периферийного блока может быть индивидуально отключено или отключено его тактирование;
- наличие двух режимов пониженного потребления: Idle и Sleep. В Sleep-режиме работают только часы реального времени, способные по будильнику выводить процессор в рабочий режим;
- наличие в JTAG-цепочке отдельного TAP-контроллера FLASH-памяти, что значительно позволяет ускорить технологический этап программирования;
- АЦП-модуль обеспечивает время преобразования в 10-битный код менее 0,7 мкс.

### Возможности цифровой обработки сигналов семейства STR91x

В архитектуре ARMv5TE введено 10 команд, ускоряющих алгоритмы цифровой обработки данных. Они приведены в таблице 2. DSP-инструкции выполняются за один или два цикла ядра. Для сравнения, инструкции умножения в архитектуре ARMv4T семейства ARM9 вы-

полняются за четыре и более циклов ядра.

Это приводит иногда к неожиданным результатам, например, известный микроконтроллер AT91RM9200 семейства ARM9 с архитектурой ARMv4T, работающий на частоте 180 МГц, вполне может уступить по быстродействию чипам STR91x, работающим на частоте 96 МГц в приложениях, связанных с цифровой обработкой данных.

Важность длительности выполнения инструкций умножения со сложением обусловлена тем, что они применяются практически во всех цифровых фильтрах и корреляторах, а они являются сердцем подавляющего большинства DSP алгоритмов. Не менее важна функция слежения за насыщением результата операций сложения и умножения. Некорректное отслеживание ситуаций насыщения приводит к неработоспособности цифровых фильтров. При отсутствии аппаратной поддержки установки флага насыщения его пришлось бы реализовать программно и проверять после каждой арифметической операции в цифровом фильтре.

Исследования специалистов фирмы ARM показывают, что DSP-инструкции ускоряют вычисления при реализации голосового кодера стандарта GSM-AMR на 40%, а при реализации алгоритма сжатия голоса G.723.1 — на 41% по сравнению с временем, которое требуется для выполнения той же работы чипам с ядром ARM без DSP инструкций.

Фирма STMicroelectronics предлагает разработчикам библиотеку оптимизированных DSP-функций для STR91x. В библиотеку входят процедуры вычисления отклика цифрового фильтра с бесконечной импульсной характеристикой, вычисления отклика цифрового фильтра с конеч-

ной импульсной характеристикой и вычисления быстрого преобразования Фурье. Преобразование Фурье для 1024 точек выполняется процедурой из этой библиотеки за 713 мкс.

### ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ И КОМПИЛЯТОРЫ

Программное обеспечение для встраиваемых систем в большинстве случаев пишется на языке C. Выбор компилятора с языка C является ответственным этапом, поскольку этот инструмент во многом определяет производительность труда программиста и может влиять на общую надёжность программного обеспечения.

Интегрированная среда разработки (в дальнейшем IDE) кроме компилятора включает редактор исходных текстов, среду управления проектами, линкер, интерактивный отладчик и другие утилиты, автоматизирующие создание из исходных текстов загружаемого в микроконтроллер кода и его отладку.

Известно 8 – 10 компиляторов различных фирм, способных сгенерировать код для ядра ARM966, которое используется в STR91x. Ещё больше IDE с возможностью компиляции для ядра ARM966. Многие из них базируются на бесплатной версии GNU C/C++. Однако, не все они одинаково дружелюбны к тем, кто хочет начать разработку именно на базе STR91x.

Анализ существующих решений показывает, что наиболее легкий старт (хотя и не самый дешёвый) обеспечивают две среды разработки: IAR Embedded Workbench for ARM и RealView Microcontroller Development Kit (RVDK) фирмы Keil, ставшей с недавнего времени подразделением фирмы ARM. Для семейства STR91x в этих пакетах даются развёрнутые примеры проектов, автоматически создаются командные файлы для компилятора и линкера, от пользователя не требуется задавать вручную распределение памяти и периферии в микроконтроллерах. Эти IDE могут программировать внутреннюю FLASH-память микроконтроллеров через интерфейс JTAG. В программах-отладчиках этих IDE в удобной форме можно наблюдать состояния регистров периферии и ядра STR91x. Обе IDE умеют симулировать работу STR91x с разной степенью полноты. У каждого из пакетов есть сильные и слабые стороны, кото-

Таблица 2. DSP-инструкции архитектуры v5TE

| Инструкция       | Описание   |
|------------------|--|
| SMLAxy{cond}     | 16*16+32 → 32 Умножение со знаком и сложение                           |
| SMLAWy{cond}     | 32*16+32 → 32 Расширенное умножение со знаком и сложение               |
| SMLALxy{cond}    | 16*16+64 → 64 Расширенное умножение со знаком и расширенное сложение   |
| SMULxy{cond}     | 16*16 → 32 Умножение со знаком   |
| SMULWxy{cond}    | 16*32 → 32 Расширенное умножение со знаком                             |
| QADD Rd, Rm, Rs  | SAT(Rm+Rd) Сложение с установкой флага насыщения                       |
| QDADD Rd, Rm, Rs | SAT(Rm+SAT(Rs*2)) Сложение с удвоением и с установкой флага насыщения  |
| QSUB Rd, Rm, Rs  | SAT(Rm-Rd) Вычитание с установкой флага насыщения                      |
| QDSUB Rd, Rm, Rs | SAT(Rm-SAT(Rs*2)) Вычитание с удвоением и с установкой флага насыщения |
| CLZ{cond}        | Подсчёт двоичных нулей слева до первого ненулевого бита                |

рые могут иметь разное субъективное значение при выборе.

Для получения более объективной картины автор провёл сравнительные тесты компиляторов по объёму и быстродействию генерируемого кода. Обе характеристики особенно важны для малых встраиваемых систем и могут быть достаточно серьёзными критериями при выборе компиляторов.

Сравнение по объёму сгенерированного кода проведено на примере проекта, описанного в документе Application Note AN-9910 и расположенного на сайте фирмы Micrium. Результаты показаны в таблице 3. Автор подготовил четыре варианта проектов AN-9910, адаптированных для платформы ARM-Dominator. С проектами можно ознакомиться на сайте журнала. Проект AN-9910 является эффективной демонстрацией работы операционной системы uCOS-II, стека протоколов TCP/IP, фирменной библиотеки ST для семейства STR91x и программы тестирования TCP/UDP-соединений. Проект включает более 135 файлов на языке C и ассемблере и может считаться типичным приложением, рассчитанным на выполнение в малых встраиваемых системах с микроконтроллерами семейства STR91x.

Не менее важным является сравнение быстродействия сгенерированного компиляторами кода. Для этого

автор выбрал тестовый набор алгоритмов, включающий известные тесты Whetstone, Dhrystone и криптографические алгоритмы. На сайте журнала можно найти четыре проекта с исходными текстами тестов, адаптированных для платформы ARM-Dominator. В проектах использовались опции компилятора, заставляющие его генерировать максимально быстрый код. Результаты можно посмотреть в таблице 4.

Тест Whetstone имитирует приложение с большим объёмом вычислений с плавающей точкой, результаты этого теста говорят об эффективности встроенных в компилятор математических библиотек, оперирующих с числами типа float.

Тест Dhrystone 2.1 пытается смоделировать структуру типичного приложения, где интенсивно обрабатываются строки, вызываются подпрограммы, выполняются циклы над массивами и структурами. Dhrystone применяется уже довольно давно, и существуют открытые таблицы результатов для уже ушедших в прошлое микропроцессоров и микроконтроллеров. Так вот, быстродействие Dhrystone на STR91x с частотой 96 МГц, согласно этим таблицам, равнялось бы быстродействию микропроцессора Intel 80386, если бы он работал на частоте 431 МГц! Это сравнение показывает, насколько эффек-

тивнее архитектура современного ARM-ядра и насколько улучшились характеристики современных компиляторов.

Анализ результатов тестов показывает заметное преимущество компилятора RealView C/C++ из пакета RVDK над всеми остальными. RealView генерирует код, по компактности незначительно отстающий от лидера — компилятора IAR, но при этом значительно превосходит всех по скорости выполнения сгенерированного кода. RealView также значительно быстрее производит компиляцию по сравнению с конкурентами. Серьёзные проекты на платформе ARM-Dominator могут содержать несколько сотен файлов, поэтому быстродействие компилятора имеет не последнее значение. К другим преимуществам RealView можно отнести совместимость с диалектом C GCC, поддержку стандарта вызовов процедур AAPCS, способность генерировать позиционно-независимый код, точное следование стандарту C99. Отладчик среды разработки фирмы Keil для RVDK также обеспечивает некоторые преимущества по сравнению с остальными: более точный и быстрый интерактивный симулятор; точный профайлер; поддержку трассировки; отображение состояния периферии чипа STR91x в виде интуитивно понятных диалоговых окон и т.д.

Таблица 3. Сравнение компиляторов по скорости работы и объёму сгенерированного кода

| Параметр сравнения   | IAR C/C++ Compiler for ARM 4.41A | RealView C/C++ Compiler 3.0 | Rowley CrossWorks 1.6 (GCC 4.1.0) | GNU ARM GCC 4.1.1 |
|--|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Время полной компиляции  | 47 с                             | 13 с                        | 37 с                              | 1 мин 20 с        |
| Полученный размер загружаемого кода для работы процессора в режиме ARM, с максимальной оптимизацией по объёму кода, байт   | 110 303                          | 112 300                     | 144 868                           | 183 251           |
| Полученный размер загружаемого кода для работы процессора в режиме THUMB, с максимальной оптимизацией по объёму кода, байт | 77 103                           | 79 092                      | 104 556                           | 139 715           |

Таблица 4. Результаты тестов на быстродействие генерируемого компиляторами кода

| Параметр сравнения   | IAR C/C++ Compiler for ARM 4.41A | RealView C/C++ Compiler 3.0 | Rowley CrossWorks 1.6 (GCC 4.1.0) | GNU ARM GCC 4.1.1 |
|--|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Время выполнения теста Whetstone, мкс  | 377 890                          | 214 138                     | 309 709                           | 221 112           |
| Время выполнения одного цикла теста Dhrystone 2.1, мкс   | 16,6                             | 9,1                         | 23,0                              | 20,9              |
| Количество циклов теста Dhrystone, выполняемых за 1 с  | 60 375                           | 110 468                     | 43 497                            | 47 736            |
| Время выполнения хеширования по алгоритму SHA1 16-байтного блока, мкс                                  | 4                                | 2                           | 3                                 | 3                 |
| Время выполнения хеширования по алгоритму MD5 16-байтного блока, мкс                                   | 3                                | 2                           | 3                                 | 3                 |
| Время шифрования по алгоритму AES256 16-байтного блока, мкс  | 22                               | 18                          | 54                                | 70                |
| Время шифрования по алгоритму DES3 16-байтного блока, мкс  | 49                               | 48                          | 136                               | 141               |
| Время шифрования по алгоритму RC4 16-байтного блока, мкс   | 7                                | 7                           | 8                                 | 8                 |
| Время генерации случайного числа по алгоритму PseudoDES, мкс (Numerical Recipes in C Chapter 7.5)      | 2                                | 2                           | 2                                 | 3                 |
| Время генерации случайного числа типа float в диапазоне 0..1, мкс (Numerical Recipes in C Chapter 7.1) | 5                                | 2                           | 5                                 | 2                 |

## JTAG-отладчики

JTAG-отладчики значительно экономят время поиска ошибок, и в комплексных проектах без них практически невозможно обойтись. Ядро ARM966 позволяет с помощью JTAG-интерфейса установить две аппаратные точки останова. В точках останова ядро ARM прекращает выполнение программы, и в это время отладочное средство может неопределённо долго исследовать содержимое регистров чипа и памяти до тех пор, пока само не возобновит работу процессора. Этот стандартный сценарий отладки в STR91x дополняется другой возможностью: при прохождении точек останова не останавливать процессор, а вызывать обработчики прерываний, которые могут через JTAG сами выдать интересующую информацию в программу-отладчик, внося минимальную задержку в выполнение программы. Также интересна обратная возможность. При срабатывании точки останова, в STR91x может выборочно приостанавливаться работа некоторых периферийных модулей. Две точки останова — это сравнительно немного, но это количество характерно для семейства ARM и во многих случаях достаточно.

Приведём сравнительные характеристики нескольких JTAG-отладчиков.

*SEGGER J-Link* — JTAG-отладчик фирмы SEGGER, его прямой аналог предлагается фирмой IAR под тем же названием. Известны другие функциональные аналоги, например популярный MT-Link фирмы MT-System. Достоинствами отладчика являются высокая скорость передачи данных и программирования, наличие RDI-драйвера, поддержка средами разработки нескольких сторонних фирм (Keil, Rowley Associates Limited), установка неограниченного числа точек останова с помощью модификации кода программы, быстрое пошаговое выполнение кода, поддержка технологии под названием semihosting. Semihosting даёт возможность отлаживаемому устройству использовать файловую систему и систему ввода/вывода компьютера через вызовы стандартных функций: printf, fread, fwrite и т.д. В качестве физического канала передачи при этом используется JTAG. Недостатком отладчика является то, что сопутствующее программное обеспечение не поддерживает

программирование области OTP и битов защиты STR91x.

*ULINK2* — JTAG-отладчик фирмы Keil Software. Это отладочное устройство тесно интегрировано со средой разработки фирмы Keil и несколько дешевле, чем SEGGER J-Link. В среде Keil есть возможность программирования области OTP и битов защиты STR91x. Реализована поддержка технологии быстрого коммуникационного канала по интерфейсу JTAG, так называемый агент реального времени (Real-Time Agent). Агент реального времени позволяет пользовательской программе выводить диагностическую и отладочную информацию через JTAG-интерфейс в специальное окно отладчика. При этом не занимают периферийные интерфейсы микроконтроллера, в частности UART, как это практикуется в иных случаях. Агент также позволяет просматривать память микроконтроллера и значения переменных, не останавливая программу и не изменяя её логики работы. Из недостатков следует отметить худшие параметры быстродействия по сравнению с J-Link и несовместимость со средствами разработки третьих фирм.

Приведённые выше два отладочных средства наиболее популярны, поскольку они поддерживаются непосредственно известными производителями IDE для семейства STR91x. Кроме них существует ещё не менее десятка отладочных средств разных производителей для работы с STR91x. Стоит упомянуть отладочное средство Multi-ICE фирмы ARM. Оно разработано самой фирмой — разработчиком ядра ARM и первым стало поддерживать чипы с ядром ARM966. Multi-ICE является штатным отладочным средством в среде разработки фирмы ARM под названием RealView. Multi-ICE также легко интегрируется в среду разработки IAR и потенциально в любой пакет разработки для ARM, который поддерживает интерфейс RDI. На Multi-ICE стоит обратить внимание, когда один интерфейс JTAG на целевой плате помимо работы с STR91x служит ещё и для коммуникации с разнородным набором чипов, включающих FPGA, CPLD, и т.д.

## Бюджетные варианты средств разработки

Перечисленные выше средства разработки обеспечивают высокую

производительность труда разработчиков, но могут быть слишком дороги для проектов с ограниченным бюджетом или образовательных проектов.

Все бюджетные варианты основываются на какой-либо из версий бесплатного компилятора GNU C/C++ из пакета GNU Compiler Collection (GCC) и сопутствующих инструментов. Сложность обсуждения сред разработки на базе GCC состоит в том, что существующие решения многокомпонентны. Они состоят из множества программных компонентов, созданных различными группами разработчиков с разной степенью качества и технической поддержки. Для каждого компонента может существовать несколько альтернатив. Основные компоненты следующие:

- какая-либо версия компилятора GNU C/C++ для ARM (3.3, 3.4, 4.0 и т.д.);
- какая-либо версия сопутствующих инструментов для GCC (binutils 2.14, 2.15, 2.16 и т.д.);
- какая-либо версия системных библиотек GNU C/C++ для ARM (uClib x.x, newlib x.x, и т.д.);
- какая-либо среда разработки (IDE), включающая редактор, генератор make-файлов и т.д. В последнее время широкое распространение получила среда разработки Eclipse;
- в случае выбора Eclipse следует позаботиться о соответствующей надстройке для языка C — C Development Toolkit (CDT). Многие источники рекомендуют Zylind CDT (<http://zylind.com>);
- какая-либо версия программы-отладчика GNU Project debugger (GDB);
- какая-либо версия графического интерфейса пользователя для программы — отладчика GDB. В пакете Eclipse применяется графический интерфейс Insight (<http://sourceware.org/insight>);
- какая-либо версия программы поддержки внутрисхемного отладчика через интерфейс JTAG. В последнее время неплохо развивается проект OpenOCD.

Все программы из списка бесплатны и могут в принципе обеспечить работоспособный пакет инструментов для разработки программного обеспечения STR91x. Остаётся вопрос с аппаратным адаптером для подключения JTAG-интерфейса микроконтроллера к PC. Самым дешёвым

адаптером можно считать Wiggler — простейшее устройство, собранное на одной микросхеме 8-битного регистра и подключаемое к LPT-порту компьютера с одной стороны и JTAG-интерфейсу микроконтроллера с другой. Схема адаптера Wiggler опубликована на множестве сайтов в Интернете. Можно найти в продаже готовые адаптеры типа Wiggler.

В проекте OpenOCD с недавнего времени существует поддержка микроконтроллеров STR91x. Драйвер OpenOCD позволяет из среды Eclipse отлаживать программы на STR91x с помощью адаптера Wiggler, а также выполнять программирование FLASH-памяти микроконтроллеров.

Интеграция всех вышеперечисленных компонентов облегчается наличием в Интернете ресурсов с уже готовыми интегрированными пакетами, это, например, проект Yagarto (<http://www.yagarto.de/>) или Eclipse Embedded Development Environment фирмы Macraigor Systems LLC (<http://www.macraigor.com>).

Как промежуточный вариант между абсолютно бесплатным программным обеспечением и дорогими

программными пакетами можно рассмотреть продукт фирмы Rowley Associates под названием CrossWorks for ARM. Это интегрированная IDE с компилятором GCC 4.1.0, симулятором и отладчиком, способным работать через Wiggler с STR91x. Цена CrossWorks для персонального использования составляет всего 150 долл. Это очень немного по сравнению с IAR или Keil, цена которых находится в диапазоне 5...6 тыс. долл.

Ещё лучшей альтернативой может оказаться среда разработки RKit-STRx фирмы Raisonance S.A.S. На момент написания статьи фирма обещала в скором времени выложить для бесплатного скачивания этот пакет. Пакет RKit-STRx обладает теми же характеристиками, что и CrossWorks, но вместо Wiggler использует фирменный адаптер Rlink. Rlink стоит 100 долл., и, соответственно, такова и будет цена для разработчика пакета RKit-STRx. Стоит отметить, что Rlink подключается к USB-интерфейсу компьютера и работает значительно быстрее, чем Wiggler.

Автор, в свою очередь, предлагает менее разрекламированное бюджет-

ное решение, но, возможно, не менее эффективное. С сайта компании Keil можно скачать оценочную версию пакета RVDK. В IDE этого пакета под названием uVision есть возможность вместо использования компилятора RealView назначить компилятор GCC. Подходящий и самый свежий GCC-компилятор можно бесплатно взять с сайта [www.gnuarm.com](http://www.gnuarm.com). В RVDK есть несколько примеров, демонстрирующих работу с GCC. Отладчик Keil в качестве JTAG-адаптера может использовать SEGGER J-Link или MT-Link и при этом в паре с GCC не налагает ограничений на отладку. Цена решения оказывается примерно 70 долл., но отладчик обладает лучшими качествами коммерческого продукта.

К сожалению, даже с модифицированными и оптимизированными, как в CrossWorks, библиотеками компиляторы GCC значительно отстают по эффективности от коммерческих конкурентов, о чём свидетельствуют результаты тестов в таблицах 3, 4. Разработчику придётся смириться с тем, что приблизительно половина потенциально доступных ресурсов FLASH-памяти и быстродействия

# MOBILE & WIRELESS

INTERNATIONAL CONFERENCE & EXHIBITION

3-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

## БЕСПРОВОДНЫЕ И МОБИЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

27-29 ноября

ЦЕНТР МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ  
МОСКВА, РОССИЯ

2007

Тел.: (495) 739 55 09,  
факс: (495) 641 22 38  
E-mail: [electronica@inconex.ru](mailto:electronica@inconex.ru)

Организатор:  
**INCONEX**  
International Conferences & Exhibitions  
ООО "Инконэкс"

технологии, которые меняют мир...

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

**Таблица 5. Исходные установки при тестировании производительности STR91x**

|   |           |
|---|-----------|
| Тактовая частота ядра (MCLK)                        | 96 МГц    |
| Тактовая частота RCLK                               | 96 МГц    |
| Тактовая частота интерфейса FLASH-памяти            | 96 МГц    |
| Тактовая частота шины АНВ (HCLK)                    | 96 МГц    |
| Тактовая частота шины APB (PCLK)                    | 96 МГц    |
| Тактовая частота интерфейса внешней памяти (BCLK)   | 96 МГц    |
| Кэш ветвлений                                       | Включен   |
| Количество тактов ожидания на шине DTCM             | 0         |
| Количество тактов ожидания на шине АНВ              | 0         |
| Блокировка передачи на АНВ-шине                     | Выключена |
| Количество тактов ожидания на шине внутренней FLASH | 2         |
| Значение установки скорости шины FLASH              | >66 МГц   |
| Буферизация записи в ядре ARM966E-S                 | Выключена |
| Буфер предвыборки ядра ARM966E-S                    | Включен   |

микроконтроллера в крупных проектах на Си будут для него потерянны.

### ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ STR91x

Производительность микроконтроллеров семейства STR91x зависит от очень многих внутренних программируемых настроек, выбранного режима работы процессора и типа памяти, из которой выполняется программа. Для того чтобы добиться оптимального баланса между производительностью, надёжностью и компактностью про-

раммы, нужно иметь достаточно ясное представление о влиянии тех или иных параметров на производительность чипа.

В качестве типичных приложений, на которых тестировалось изменение производительности в зависимости от вариаций параметров, автор выбрал тесты Whetstone и Dhrystone. В качестве компилятора был выбран RealView и установлена максимальная оптимизация по скорости выполняемого кода. Другие компиляторы, безусловно, дадут другие результаты, но данный тест предполагает выяснение максимально достижи-

мых параметров с лучшими из существующих на сегодняшний день средствами разработки.

Исходные установки для тестирования производительности приведены в таблице 5. Автор посчитал бессмысленным анализировать производительность на уровне машинных кодов или ассемблерных фрагментов, поскольку разрабатывать на ассемблере серьёзные проекты для STR91x экономически нецелесообразно, а необходимость в повышении производительности программ на Си, тем не менее, остаётся большой. Для коротких ассемблерных вставок в DSP-алгоритмах ситуация очень проста. Их обычно помещают во внутреннее ОЗУ, в котором скорость работы процессора детерминирована и равна 96 MIPS. С точностью до такта при помощи инструментов профилирования в симуляторе можно узнать все временные интервалы, поэтому в этом случае необходимости в эмпирических исследованиях нет.

Прежде всего интересует, как изменится производительность процессора от типа памяти, в которой выполняется программа, и режима ра-

**Таблица 6. Тестирование влияния типа памяти на производительность**

| Режим работы процессора | Область памяти, из которой выполняется программа               | Количество выполняемых циклов Dhrystone в секунду | Время выполнения Whetstone, мкс |
|-------------------------|--|---|---------------------------------|
| ARM                     | Внутренняя FLASH   | 110 978   | 214 788                         |
| ARM                     | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                                   | 166 372   | 144 760                         |
| THUMB                   | Внутренняя FLASH   | 84 206  | 218 656                         |
| THUMB                   | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                                   | 141 172   | 145 535                         |
| ARM                     | Внешнее ОЗУ, данные во внутреннем ОЗУ                          | 22 731  | 1 122 079                       |
| ARM                     | Внешнее ОЗУ, данные во внешнем ОЗУ                             | 18 375  | 1 243 465                       |
| ARM                     | Внутренняя FLASH, данные во внешнем ОЗУ без буферизации записи | 58 713  | 299 438                         |
| ARM                     | Внутренняя FLASH, данные во внешнем ОЗУ с буферизацией записи  | 61 973  | 276 676                         |

**Таблица 7. Тестирование влияния кэша ветвлений и буфера предвыборки. Режим работы процессора – ARM**

| Состояние кэша ветвлений | Область памяти, из которой выполняется программа | Количество выполняемых циклов Dhrystone в секунду | Время выполнения Whetstone, мкс |
|--------------------------|--|---|---------------------------------|
| Включен                  | Внутренняя FLASH                                 | 110 978   | 214 788                         |
| Выключен                 | Внутренняя FLASH                                 | 98 356  | 302 396                         |
| Включен                  | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                     | 166 372   | 144 760                         |
| Выключен                 | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                     | 166 369   | 144 761                         |

**Таблица 8. Тестирование влияния тактов ожидания на шинах АНВ и DTCM**

| Режим работы процессора | Количество тактов ожидания на шине DTCM | Количество тактов ожидания на шине АНВ | Область памяти, из которой выполняется программа | Количество выполняемых циклов Dhrystone в секунду | Время выполнения Whetstone, мкс |
|-------------------------|---|--|--|---|---------------------------------|
| THUMB                   | 0                                       | 0                                      | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                     | 141 172   | 145 535                         |
| THUMB                   | 0                                       | 1                                      | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                     | 100 625   | 235 977                         |
| ARM                     | 0                                       | 1                                      | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                     | 100 837   | 236 694                         |
| ARM                     | 1                                       | 0                                      | Внутреннее ОЗУ, область DTCM                     | 150 229   | 153 510                         |
| ARM                     | 0                                       | 0                                      | Внутреннее ОЗУ, область АНВ с буферизацией       | 160 797   | 150 053                         |
| ARM                     | 0                                       | 0                                      | Внутреннее ОЗУ, область АНВ без буферизации      | 160 798   | 150 053                         |

боты процессора: THUMB или ARM (см. табл. 6).

Компания ST анонсировала в будущих модификациях чипов улучшение функционирования кэша ветвлений. В связи с этим представляет интерес влияние кэша ветвлений на производительность (табл. 7).

Шина АНВ представляет собой сложную структуру с возможностью проведения расщеплённых транзакций, конкурирующую за доступ к ОЗУ с шиной DTSM. В режиме работы процессора THUMB может понадобиться установить один дополнительный такт ожидания на АНВ во избежание некорректной работы с периферийными модулями. Как это может отразиться на производительности и как вообще влияет отражение ОЗУ на АНВ, показывает следующий тест (см. табл. 8).

#### ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ПРИМЕР ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ INTERNET С WEB-СЕРВЕРА ARM-DOMINATOR

К разъёму интерфейса RS232 в ARM-Dominator подведены дополни-

тельные сигналы, позволяющие легко подключить к нему модуль-камеру марки С328-7640 (рис. 10). Эта камера способна делать снимки с разрешением  $640 \times 480$  бит и сжимать их в формат JPEG. Передача информации производится по последовательному асинхронному интерфейсу со скоростью до 115 200 бод. С таким интерфейсом может работать любой UART микроконтроллера без всяких промежуточных драйверов.

В демонстрационном примере на базе TCP/IP-стека с API BSD-сокетов реализован web-сервер. Web-сервер получает запросы от удалённых браузеров клиентов на получение страницы с изображением. Получив запрос, программа сервера производит извлечение из оперативной памяти файла готового снимка и передачу его клиенту по протоколу HTTP 1.0. Одновременно с этим в устройстве непрерывно выполняется программа обслуживания модуля камеры, которая периодически посылает запрос в камеру на выполнение снимка и выгрузку готовых JPEG-файлов из камеры. Файлы помещаются в оперативную память устрой-

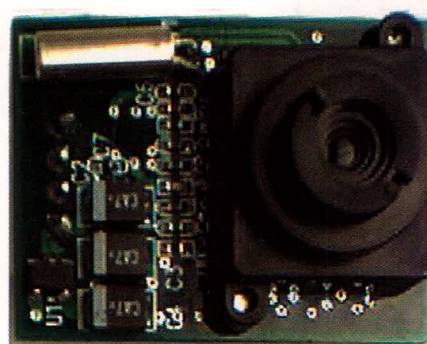


Рис. 10. Внешний вид камеры-модуля С328-7640

ства для последующей передачи. Размер файлов при разрешении  $640 \times 480$  цветных пикселей находится в диапазоне 10...50 Кб в зависимости от снимаемой сцены. С помощью программы-терминала можно на ходу менять разрешение снимков и другие настройки сервера. Поскольку файлы HTML-страниц сервера хранятся на SD-карте, нет никаких проблем с изменением дизайна страниц и структуры всего web-сайта сервера ARM-Dominator.

С демонстрационным проектом можно ознакомиться на сайте журнала.



**MPS**  
Monolithic Power Systems



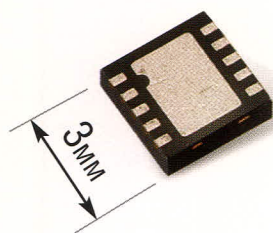
## Маленький и мощный!

**MP4459 — высокочастотный понижающий DC/DC-преобразователь**

**NEW!**

### Ключевые достоинства

- Частота преобразований: 4 МГц!
- Диапазон входных напряжений: 4,5...36 В
- Диапазон выходных напряжений: 0,8...36 В
- Ток нагрузки: 1,5 А
- Напряжение обратной связи: 0,8 В
- КПД: >95%



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР MPS В РОССИИ

**PROSOFT®**

**ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

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

# Макромодель микросхемы TOPSwitch

Вячеслав Морозов (г. Ростов-на-Дону)

Представленная в статье макромодель микросхемы серии TOPSwitch® позволяет исследовать в программе Pspice динамические характеристики обратноходового преобразователя, выполненного на основе данной модели. Параметры модели преобразователя вводятся непосредственно из технических описаний микросхем, активных и пассивных элементов, что позволяет легко адаптировать модель к конкретному варианту схемы.

Микросхемы серии TOPSwitch® [1] пользуются популярностью как среди профессиональных разработчиков сетевых импульсных источников питания, так и среди радиолюбителей, благодаря наличию удобных программ для расчёта и оптимизации силовой части источников питания. Методика расчёта [2] и программа PI-Expert позволяют рассчитать статические характеристики источника питания, выполненного по обратноходовой схеме (flyback), однако оставляют открытым вопрос о его динамических характеристиках, таких, например, как область устойчивой работы источника или влияние на выходное напряжение резкого изменения тока нагрузки. Основная трудность при анализе динамических характеристик обратноходового преобразователя заключается в наличии двух возможных режимов работы – с непрерывным током (CCM) и с разрывным током (DCM), передаточные функции которых существенно отличаются друг от друга [3].

Методы анализа, основанные на составлении уравнений для непре-

рывной модели и линеаризации их в рабочей точке [4], позволяют получить передаточную функцию в аналитической форме, однако требуют значительного объёма вычислительных операций. Использование компьютерных программ моделирования позволяет существенно сократить время анализа схемы за счёт того, что значительную часть рутинной работы – составление системы уравнений и линеаризацию их в рабочей точке – программа выполняет автоматически. Предлагаемые далее описательные модели (макромодели) микросхемы TOPSwitch и обратноходового преобразователя на её основе представлены в виде простых и понятных разработчику эквивалентных схем, пригодных для работы с любыми программами, использующими формат Pspice (DesignLab, Orcad и др.). При этом большая часть параметров модели преобразователя задаётся непосредственно из технических описаний микросхем, активных и пассивных элементов, что позволяет легко адаптировать модель к конкретному варианту схемы.

## СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ TOPSWITCH

Модель схемы управления TOPSwitch показана на рисунке 1. Входом модели является вход управления С микросхемы, а выходом – коэффициент заполнения  $D_{on}$ , выраженный в единицах напряжения, поскольку Pspice не позволяет моделировать безразмерные величины.

Как следует из описания, схема управления TOPSwitch активизируется при напряжении на управляющем входе С, превышающем пороговое значение 5,8 В. В модели схемы управления этот порог задан источником напряжения  $V_{th}$ . Последовательно с ним включено динамическое сопротивление  $Z_c$  (параметр Dynamic Impedance), влияющее на динамические характеристики преобразователя.

В рабочем режиме схема управления TOPSwitch изменяет коэффициент заполнения в зависимости от тока, протекающего через вход управления С. В модели схемы управления это описывается источником напряжения, управляемым током H1 и вычитающим устройством. Коэффициент передачи GAIN источника H1 задаётся параметром PWM Gain, типовое значение которого равно 230 (23%/mA).

Резистор R\_7kHz и конденсатор C\_7kHz образуют низкочастотный фильтр с частотой среза 7 кГц согласно параметру CONTROL Pin Internal Filter Pole.

Ограничитель задаёт максимальный коэффициент заполнения, равный 0,78 (параметр Maximum Duty Cycle).

Для считывания регулировочной характеристики «ток управления – коэффициент заполнения» к входу С подключен источник тока Itest. На рисунке 2 приведена регулировочная характеристика модели, полученная в режиме DC sweep при изменении тока Itest от 1 до 6 мА, а на рисунке 3 приведена та же характеристика, взя-

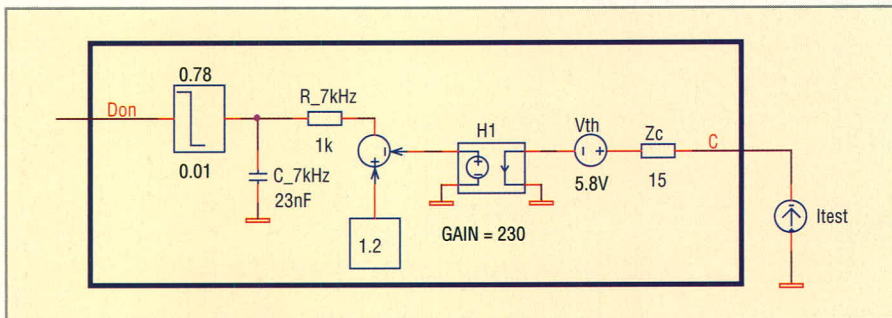


Рис. 1. Модель схемы управления TOPSwitch

тая из описания микросхем серии TOPSwitch [1, Fig. 7].

Сравнение графиков показывает достаточно близкое соответствие регулировочных характеристик модели схемы управления TOPSwitch и микросхем TOP242-5 для режима работы с максимальным коэффициентом заполнения 78%.

### Модель обратноходового ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

На рисунке 4 показана макро-модель микросхемы TOPSwitch в обратноходовом преобразователе по схеме [5]. В модель включены также паразитные элементы – эквивалентные последовательные сопротивления конденсаторов и дросселя, обозначенные соответственно RC и RL.

Схема, показанная на рисунке 4, содержит:

- модель схемы управления TOPSwitch;
- модели оптопары F\_opto и усилителя ошибки G\_TL431;
- непрерывные модели трансформатора T1 и ключевых элементов – диода и транзистора – U1;

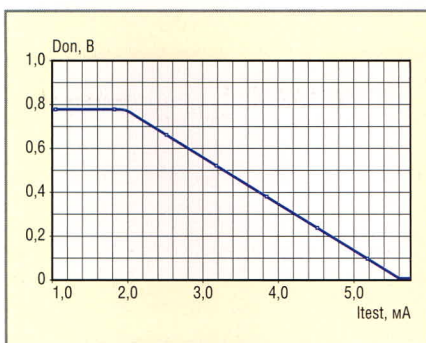


Рис. 2. Регулировочная характеристика модели схемы управления TOPSwitch

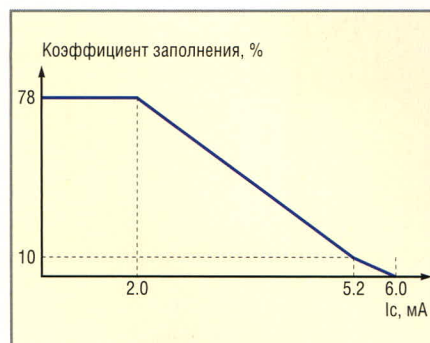


Рис. 3. Регулировочные характеристики микросхем TOP242 – TOP250

- тестовые сигналы AC для малосигнального частотного анализа и Transient – для анализа переходных процессов.

### Модели оптопары и усилителя ошибки

Многие производители микросхем, полупроводниковых и оптоэлектронных приборов размещают описания Pspice-моделей на своих интернет-страницах. Описания можно создавать и самостоятельно, пользуясь методикой, приведенной в [6].

Основными параметрами, необходимыми при моделировании оптопары, являются коэффициент передачи по току CTR и время задержки сигнала между входом и выходом Tfall. На рисунке 4 оптопара моделируется источником тока, управляемым током F\_opto, коэффициент передачи которого GAIN определяется согласно справочному значению CTR; в данном примере, для ISP817C, – от 2 до 4 (от 200 до 400%). Падение напряжение на светодиоде оптопары моделируется

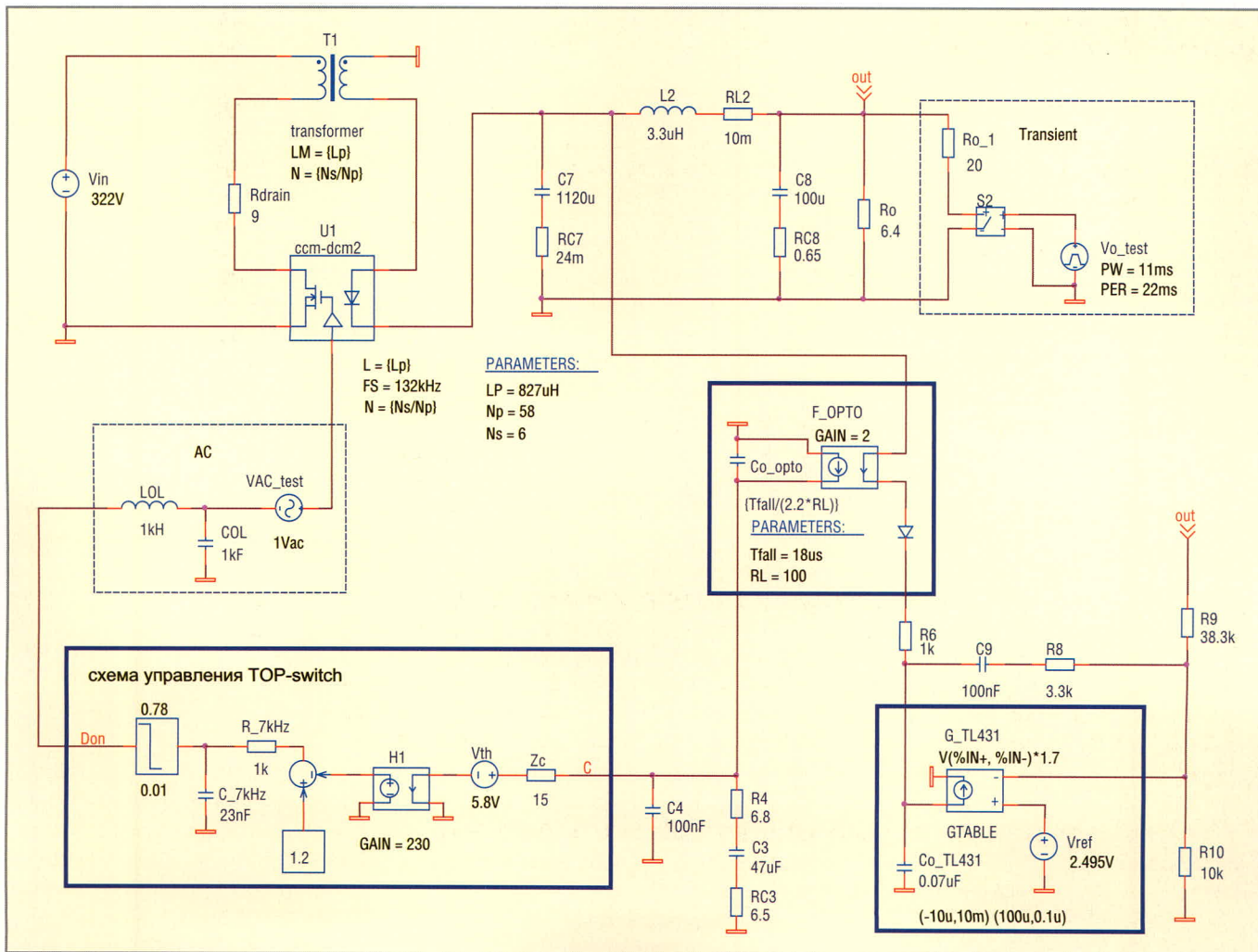


Рис. 4. Макромодель микросхемы TOPSwitch в обратноходовом преобразователе

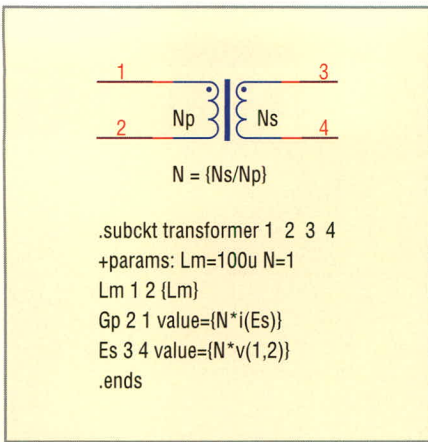


Рис. 5. Модель трансформатора

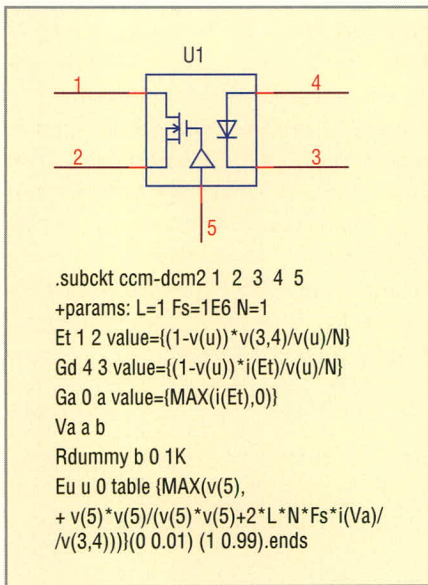


Рис. 6. Модель ключевых элементов

диодом, включенным последовательно с входной цепью источника  $F_{opto}$ . Время задержки сигнала моделируется подключенным к выходу источника тока конденсатором  $Co_{opto}$ , ёмкость которого определяется справочными данными оптопары:

$$Co_{opto} = T_{fal} / (2,2 * RL),$$

где  $T_{fall}$  – время задержки сигнала (Output Rise Time, Output Fall Time);  $RL$  – сопротивление нагрузочного резистора, при котором производится измерение времени задержки (обычно 100 Ом).

Усилитель ошибки является типовым для изолированных обратноходовых преобразователей и выполнен на основе микросхемы TL431 (LM431 и аналогичных). Согласно описанию, микросхема TL431 изменяет ток катода в зависимости от разности напряжений на управляющем электроде и внутреннего источника опор-

ного напряжения 2,495 В, т.е. представляет собой источник тока, управляемый напряжением (G\_TL431 на рис. 4). К неинвертирующему входу G\_TL431 подключен источник опорного напряжения  $V_{ref}$ , а к инвертирующему – делитель выходного напряжения R9, R10. Согласно графику АЧХ (Small-Signal Voltage Amplification vs Frequency), приведёному в описании микросхемы, частотная характеристика TL431 содержит низкочастотный полюс, заданный в модели конденсатором Co\_TL431.

### Модель силовой части ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В схеме на рисунке 4 использованы непрерывные модели трансформатора и ключевых элементов из библиотеки switch.lib [7]. На рисунке 5 показано условное графическое обозначение модели трансформатора T1 и её описание в формате Pspice:

- в первой строке описания модели определено имя модели – transformer – и заданы номера выводов;
- во второй строке определены внешние параметры – индуктивность первичной обмотки  $L_m$  и коэффициент передачи  $N$ , равный отношению числа витков вторичной  $N_s$  и первичной  $N_p$  обмоток;
- в третьей строке показано подключение индуктивности первичной обмотки  $L_m$  к входным контактам 1 и 2 трансформатора;
- в четвёртой и пятой строках определены уравнения, характеризующие работу трансформатора, – ток первичной обмотки, заданный источником тока Gp, равен току вторичной обмотки  $i(Es)$ , умноженному на коэффициент трансформации  $N$ ; напряжение на вторичной обмотке, заданное источником напряжения  $Es$ , равно напряжению на первичной обмотке  $v(1,2)$ , умноженному на коэффициент трансформации  $N$ .

В отличие от реального трансформатора, представленная модель способна передавать постоянный ток, что необходимо для работы непрерывной модели ключевых элементов.

На рисунке 6 показано условное графическое обозначение непрерывной модели ключевых элементов

ccm-dcm и её описание в формате Pspice. Методика перехода от импульсной модели к непрерывной описана в различных источниках, например, [4].

Внешними параметрами модели являются индуктивность первичной обмотки обратноходового трансформатора  $L$ , частота коммутации  $Fs$  и коэффициент передачи трансформатора  $N$ .

Непрерывная модель ключевых элементов представлена в виде «идеального» трансформатора:

$$\langle V_{1,2}(t) \rangle_{T_s} = \frac{1-\mu}{\mu} \frac{1}{N} \langle V_{3,4}(t) \rangle_{T_s}$$

В третьей строке (см. рис. 6) определена взаимосвязь средних напряжений на ключе и выходном диоде, где  $\langle V_{1,2}(t) \rangle_{T_s}$  – среднее за период коммутации  $T_s$  напряжение, приложенное к ключу (обозначено как источник напряжения  $Et$ );  $\langle V_{3,4}(t) \rangle_{T_s}$  – среднее за период коммутации  $T_s$  напряжение, приложенное (в обратном направлении) к выходному диоду;  $N = N_s/N_p$  – коэффициент передачи трансформатора;  $N_p, N_s$  – число витков соответственно первичной и вторичной обмоток трансформатора;  $\mu$  – коэффициент преобразования ключевых элементов, для режима непрерывных токов равный коэффициенту заполнения  $D$  (в модели обозначен как  $v(u)$ ); в четвёртой строке аналогичным образом определена взаимосвязь среднего тока, протекающего через выходной диод (источник тока  $Gd$ ), и среднего тока ключа  $i(Et)$ .

Источник напряжения  $Eu$  определяет коэффициент преобразования  $\mu$ :

- в режиме непрерывных токов  $\mu$  равен коэффициенту заполнения, который в модели задан напряжением на управляющем входе  $v(5)$ ;
- в режиме разрывных токов  $\mu$  определяется выражением:

$$\mu = \frac{D^2}{D^2 + \frac{2LNFs}{R_o}}$$

где  $D$  – коэффициент заполнения;  $L$  и  $N$  – индуктивность первичной обмотки и коэффициент трансформации  $T1$  соответственно;  $Fs$  – частота коммутации;  $R_o$  – сопротивление нагрузки. Как видно из описания, модель ccm-dcm позволяет исследовать работу преобразователя в режиме

как непрерывных, так и разрывных токов.

### ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ

#### Частотный анализ

Малосигнальный частотный анализ модели, представленной на рисунке 4, осуществляется при помощи источника переменного напряжения VAC\_test, включенного в разрыв цепи управления Don. Элементы COI, LOL размыкают цепь обратной связи по переменному току, сохраняя соединение по постоянному току, что позволяет исследовать передаточную функцию силовой части преобразователя. На рисунке 7 приведены амплитудно-частотные DB(V(out)) и фазочастотные P(V(out)) характеристики силовой части преобразователя для двух значений напряжения питания: 230 В и 115 В.

Сравнение графиков показывает существенные различия передаточной функции преобразователя при разных значениях напряжения питания:

- при напряжении питания 115 В преобразователь работает в режиме разрывных токов (DCM); АЧХ си-

ловой части имеет один низкочастотный полюс, а запаздывание фазы не превышает 70° на частоте единичного коэффициента передачи;

- при напряжении питания 230 В преобразователь работает в режиме непрерывных токов (CCM), АЧХ силовой части содержит двойной комплексно-сопряжённый полюс, что обуславливает запаздывание фазы до 144°.

Наихудшим для обеспечения устойчивости режимом работы обратного преобразователя является режим CCM, что иллюстрирует рисунок 7. Компенсация запаздывания фазы осуществляется нулём, образованным в данном случае цепью обратной связи C9R8 усилителя ошибки. Частота нуля должна быть ниже частоты резонанса, составляющей, как видно из рис. 7, примерно 900 Гц. В данном примере частота нуля равна:

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_8 C_9} \approx 482 \text{ Гц}.$$

Для исследования АЧХ и ФЧХ преобразователя с замкнутой цепью об-

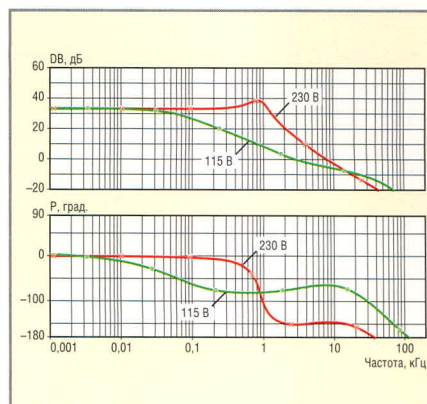


Рис. 7. АЧХ (верхние графики) и ФЧХ (нижние графики) передаточной функции силовой части обратного преобразователя для двух значений напряжения питания – 230 В и 115 В

ратной связи необходимо исключить элементы COI и LOL или установить для них пренебрежимо малые значения, например, 1 пФ и 1 нГн. Из схемы преобразователя, показанной на рис. 4, видно, что коэффициент передачи цепи обратной связи непосредственно зависит от коэффициента передачи по току CTR оптопары и коэффициента передачи схемы управления TOPSwitch. Для

## Полупроводники НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ



### Практическое применение

#### ПРИМЕНЕНИЕ SiC-ДИОДОВ ШОТКИ ПОЗВОЛЯЕТ

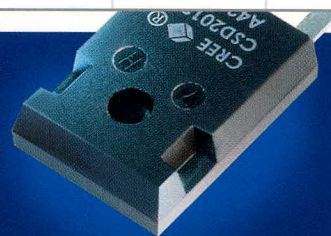
#### Характеристики высоковольтных диодов Шоттки фирмы Cree

- Снизить потери в диоде и ключевом транзисторе в 2 раза
- Уменьшить количество силовых электронных компонентов в 3 раза
- Увеличить надёжность
- Повысить частоту преобразования, снизить массу и габариты
- Получить выигрыш в стоимости и эффективности одновременно

| Наименование          | CSD04060A<br>CSD04060D<br>CSD04060E | CSD06060A<br>CSD06060D<br>CSD06060G | CSD10060A<br>CSD10060D<br>CSD10060E | CSD20060D | CSD05120A | CSD10120A<br>CSD10120D | CSD20120D |
|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|
| U <sub>макс</sub> , В | 600                                 | 600                                 | 600                                 | 600       | 1200      | 1200                   | 1200      |
| I <sub>пост</sub> , А | 4                                   | 6                                   | 10                                  | 20        | 5         | 10                     | 20        |
| Типы корпусов         | T0252, T0220-2,<br>T0220-3          | T0263, T0220-2,<br>T0220-3          | T0263, T0220-2,<br>T0220-3          | T0247-3   | T0220-2   | T0220-2, T0247-3       | T0247-3   |

#### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- Активные корректоры коэффициента мощности — снижение динамических потерь в ключевом транзисторе и диоде до 60%
- Антипараллельные диоды MOSFET- и IGBT-транзисторов и модулей для жёсткого переключения — снижение динамических потерь на 20...30%
- Мощные высоковольтные выпрямители для частот до единиц мегагерц

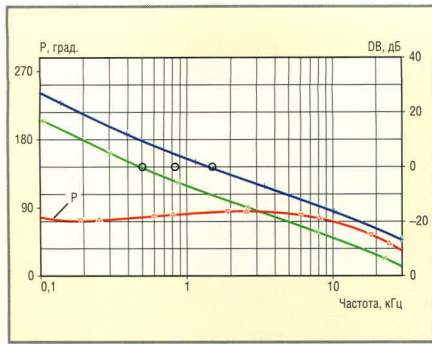


ПРОСОФТ – официальный дистрибьютор компании CREE в России и странах СНГ

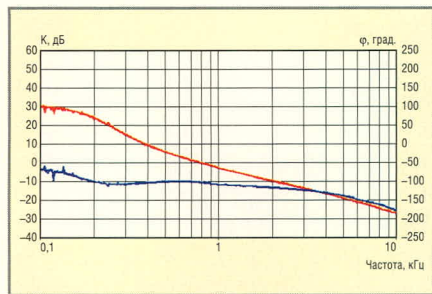


ПРОСОФТ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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

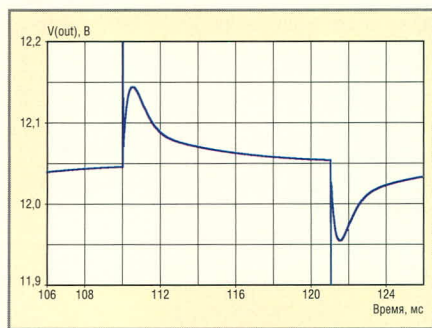


**Рис. 8. АЧХ и ФЧХ передаточной функции модели обратноходового преобразователя при замкнутой петле обратной связи для минимального и максимального коэффициентов передачи в петле**

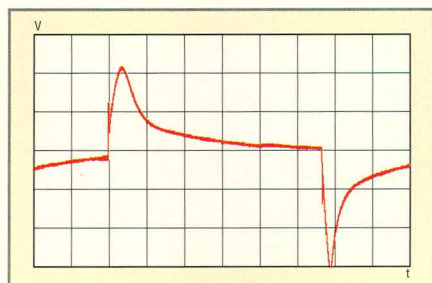


**Рис. 9. Экспериментальные АЧХ и ФЧХ передаточной функции обратноходового преобразователя**

По оси абсцисс в логарифмическом масштабе отложены значения частоты в диапазоне от 100 Гц до 10 кГц, по оси ординат – модуль коэффициента передачи в дБ (график А – верхний) и фаза коэффициента передачи в градусах (график В – нижний)



**Рис. 10. Отклик модели преобразователя на воздействие периодически меняющейся нагрузки**



**Рис. 11. Экспериментальный отклик преобразователя на воздействие периодически меняющейся нагрузки**

учёта технологического разброса параметров оптопары и микросхемы TOPSwitch необходимо провести моделирование в программе Pspice для минимальных и максимальных значений указанных параметров. На рисунке 8 показаны АЧХ  $DB(V(Don)/V(VAC\_test+))$  и ФЧХ  $P(V(Don)/V(VAC\_test+))$  модели преобразователя при замкнутой цепи обратной связи для минимального и максимального коэффициентов передачи схемы управления TOPSwitch и оптопары (соответственно 18%/мА, 200% и 28%/мА, 400%). На рисунке 9 показаны экспериментальные частотные характеристики преобразователя [5, Fig. 26] при том же значении напряжения питания преобразователя (230 В).

Сравнение графиков, приведённых на рис. 8 и 9, показывает:

- частотные характеристики модуля коэффициента передачи (GAIN), как экспериментальная, так и полученные в результате моделирования, пересекают линию 0 дБ с наклоном  $-20$  дБ на декаду, что обеспечивает рабочий запас устойчивости;
- частота единичного коэффициента передачи модели изменяется в зависимости от минимального и максимального коэффициентов передачи TOPSwitch и оптопары в диапазоне от 506 Гц до 1,46 кГц (на рис. 8 граничные значения отмечены кружками); экспериментально измеренная, согласно рис. 9, частота единичного коэффициента передачи 831,764 Гц (отмеченная на рис. 8 перечёркнутым кружком) находится примерно в середине диапазона 506...1460 Гц, что соответствует типовым значениям параметров TOPSwitch и оптопары;
- экспериментально измеренный запас устойчивости по фазе  $79,4^\circ$  находится достаточно близко к значениям, полученным в результате моделирования (от  $78,6^\circ$  до  $85,6^\circ$ ).

Таким образом, в частотной области представленная модель показывает достаточно близкое соответствие результатов моделирования экспериментальным данным.

**Анализ переходных процессов**

Представленная на рисунке 4 модель преобразователя позволяет

также исследовать переходные процессы, например, при скачкообразном изменении тока нагрузки. На схеме тестовое воздействие выполнено в виде дополнительного нагрузочного резистора  $Ro\_1$ , подключаемого к основной нагрузке ключом S2, который управляется генератором импульсов  $Vo\_test$ . На рисунке 10 показано изменение выходного напряжения модели преобразователя при воздействии на выход преобразователя периодически меняющейся нагрузки 75% – 100% – 75% от номинальной, а на рисунке 11 – экспериментальный график для тех же параметров тестового воздействия [5, Fig. 19].

Сравнение графиков, приведённых на рис. 10 и 11, показывает достаточно близкое соответствие результатов моделирования и экспериментальных данных. Разница в амплитуде коротких «выбросов», образующихся в моменты переключения, обусловлена увеличением погрешности непрерывной модели по мере приближения исследуемого диапазона частот к частоте коммутации.

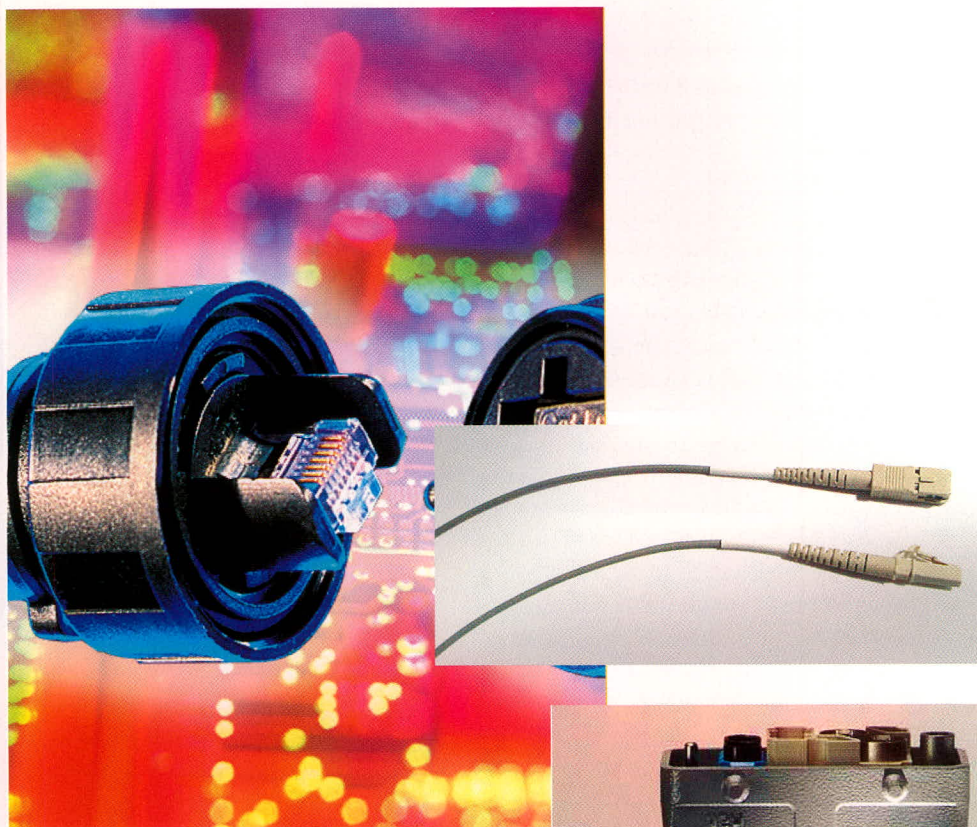
Результаты малосигнального частотного анализа и анализа переходных процессов подтверждают адекватность представленной модели микросхемы TOPSwitch и обратноходового преобразователя.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. TOPSwitch®-GX Family, [www.powerint.com](http://www.powerint.com).
2. TOPSwitch®-GX Flyback Design Methodology. Application Note AN-32, [www.powerint.com](http://www.powerint.com).
3. Dixon L. Closing the Feedback Loop & Appendix C. <http://www-s.ti.com/sc/techlit/slup068.pdf> <http://www-s.ti.com/sc/techlit/slup071.pdf>.
4. Rogers E. Control Loop Modeling of Switching Power Supplies, [www.ti.com/sc/docs/msp/papers/1998/rogers.pdf](http://www.ti.com/sc/docs/msp/papers/1998/rogers.pdf).
5. Engineering Prototype Report for EP-34 – Single Output 30 W AC-DC Power Supply Using TOP245Y (TOPSwitch®-GX), [www.powerint.com](http://www.powerint.com).
6. Kollman R., Betten J. Closing the Loop with a Popular Shunt Regulator. Power Electronics Technology, September 2003, [http://powerelectronics.com/mag/Kollman\\_and\\_Betten\\_September\\_2003.pdf](http://powerelectronics.com/mag/Kollman_and_Betten_September_2003.pdf).
7. <http://ece-www.colorado.edu/~pwrelect/book/PSPICE/index.html>.



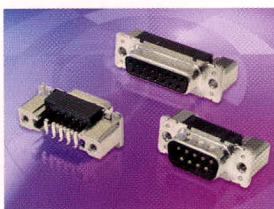
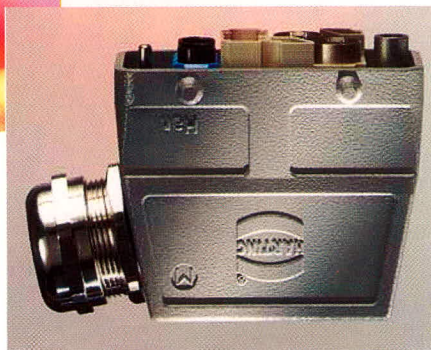
# Электромеханические КОМПОНЕНТЫ



Коннектор для промышленных Ethernet-сетей в защищённом исполнении

## Области применения

- Компьютерная техника
- Силовая электроника
- Электротехника
- Морская, военная и авиационно-космическая аппаратура
- ВЧ- и СВЧ-аппаратура
- Аудио и видео техника



**HARTING** People | Power | Partnership

**Grayhill**

**B BULGIN**

**AMP**

**OMRON**

**CviLux**

**Switchcraft**

**Полный спектр высококачественных разъёмов и соединителей для любых применений**

# Об оценке надёжности источников вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры

Вячеслав Исаев, Александр Вялов (Московская обл.)

В статье описан современный подход к оценке надёжности источников вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры на этапе разработки.

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) являются важнейшими компонентами радиоэлектронных средств и в значительной мере определяют их массогабаритные показатели, энергопотребление, эффективность работы и надёжность. Они предназначены для электропитания функциональных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) с заданными параметрами и качеством электрической энергии (КЭЭ).

Введение в действие нового поколения государственных стандартов «Климат-7» и «Мороз-6» требует пересмотра взглядов разработчиков РЭА и поставщиков законченных модулей (в частности, ИВЭП) на формулирование и подтверждение характеристик надёжности. При этом задачи обеспечения требуемого уровня надёжности ИВЭП необходимо решать во взаимосвязи с улучшением других характеристик этих модулей.

В связи с широким внедрением в практику создания РЭА стандартных электронных модулей, в том числе ИВЭП, необходимо ускорить создание нормативной базы, регламентирующей методы оценки соответствия требованиям, которые предъявляются к модулям на всех этапах жизненного цикла (от разработки до утилизации). Важнейшей составляющей этого процесса является обоснованное задание параметров надёжности.

Весьма сложной задачей является разработка ИВЭП с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, удовлетворяющими требованиям по надёжности, которые регламентированы Государственными стандартами. Небольшой объём ИВЭП создаёт проблему отвода тепла, от которого непосредствен-

но зависит надёжность комплектующих элементов ИВЭП и модуля питания в целом.

Достижение высоких технико-экономических показателей ИВЭП возможно при наличии соответствующей номенклатуры электрорадиоизделий (ЭРИ) и согласованной с ними технологии производства аппаратуры. Однако современный этап развития РЭА вообще (и ИВЭП в частности) характеризуется тем, что даже если ЭРИ по отдельности обладают превосходными функциональными характеристиками, нельзя гарантировать высокие технические параметры и надёжность устройств, созданных на их основе. Это обусловлено взаимным влиянием конструктивных, функциональных и технологических параметров при совместном использовании комплектующих изделий, что приводит к необходимости формулирования необходимых характеристик ИВЭП и ЭРИ с единых позиций.

Результаты анализа требований к надёжности ИВЭП, предназначенных для комплектования наземных стационарных и подвижных объектов, бортовой морской, авиационной и космической техники, показывают [1], что наибольшая потребность существует в модульных источниках питания с наработкой на отказ от 10 до 50 тыс. ч (37%) и от 50 до 100 тыс. ч (33%). Это достаточно жёсткие требования, если учитывать реальные режимы применения ИВЭП в РЭА.

Всю совокупность ЭРИ, используемых в ИВЭП, можно разделить на четыре группы. К первой группе относятся силовые полупроводниковые приборы – транзисторы, диоды; ко второй – энергонакапливающие ком-

поненты – дроссели, конденсаторы (к этой группе изделий можно условно отнести и трансформаторы); к третьей – функционально насыщенные схемы управления; к четвёртой – резисторы, слаботочные полупроводниковые приборы и прочие элементы.

К каждой из групп ЭРИ предъявляются общие и частные требования. Удельные энергетические показатели и показатели надёжности ИВЭП в большей степени зависят от общих требований, поскольку их оптимальное согласование приводит к снижению избыточности по массогабаритным показателям.

При использовании групповой технологии монтажа на поверхность согласованные конструктивные характеристики разнородных элементов позволяют реализовать предельное значение коэффициента использования площади основания 0,75...0,8. Дальнейшее повышение плотности упаковки ЭРИ в ИВЭП ограничивается температурными режимами их работы. Поэтому требования к надёжности ИВЭП, состоящих из различных ЭРИ, следует формировать с учётом тепловой надёжности комплектующих изделий.

На этапе разработки уровень надёжности закладывается при выборе структурной и принципиальной электрической схемы ИВЭП, комплектующих ЭРИ, условий и режимов их применения, технологии сборки и т.д.

При экспоненциальном распределении времени наработки на отказ комплектующих элементов ИВЭП интенсивность отказов источников электропитания в соответствии с [2] определяется как

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \Lambda^{(i)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{(j)}^{(i)} \Lambda_{(j)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{(j)}^{(i)} \lambda_{\sigma(j)} \prod_{s=1}^r k_{s(j)}^i, \quad (1)$$

где  $\Lambda^{(i)}$  – интенсивность отказов  $i$ -го блока (выпрямителя, фильтра, регу-

лирующего элемента, трансформаторного узла и т.п.) ИВЭП;  $\lambda_{(j)}$  – интенсивность отказов компонента  $j$ -го типа, применяемого в ИВЭП;  $\lambda_{6(j)}$  – базовая (среднегрупповая) интенсивность отказов компонента  $j$ -го типа;  $I_{(j)}^0$  – количество компонентов  $j$ -го типа в  $i$ -м блоке;  $k_{s(i)}^{(j)}$  – коэффициенты ( $s = 1, \dots, r$ ), учитывающие условия эксплуатации и режимы применения, качество изготовления, вид приёмки и т.п. компонентов  $j$ -го типа в  $i$ -м блоке. Модели расчёта  $\lambda_{(j)}$  приведены в [3].

Вместе с тем значения показателей безотказности, разработанные в последние годы и включенные в ограничительный Перечень унифицированных серий ИВЭП нулевого уровня, имеют большие отличия, хотя используемые технические решения, элементная база, а также условия эксплуатации и режимы применения таких ИВЭП достаточно близки. При создании источников питания РЭА аналогичного класса, но уже с применением элементной базы иностранного производства, расхождения в рекламируемых значениях показате-

лей безотказности ещё больше увеличиваются.

Негативное влияние на обеспечение возрастающих требований к надёжности ИВЭП могут оказать т.н. бессвинцовые технологии, когда их необоснованно внедряют в производство высоконадёжных изделий.

Перечисленные выше проблемы требуют единого подхода к заданию, обеспечению и оценке (расчёту) надёжности ИВЭП, формулирование которого осуществляется в рамках тематического исследования, начатого в 2007 г.

Достаточно высокие требования к надёжности ИВЭП должны быть обеспечены в условиях комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, а также показателей КЭЭ на входе. Для формирования требований к техническим и эксплуатационным характеристикам ИВЭП РЭА необходимо проведение исследований влияния КЭЭ на функциональные возможности и особенности работы отдельных узлов источников и работоспособность ИВЭП в целом; некоторые ре-

зультаты таких исследований представлены в [4]. Это позволит создать более точную модель влияния внешних факторов, показателей КЭЭ и электрических нагрузок на комплектующие изделия и узлы ИВЭП и послужит основой для разработки методики достоверной оценки надёжности ИВЭП на этапе разработки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев В.М. Современные требования к надёжности источников вторичного электропитания специального назначения. Электропитание. 2002. Вып. 4. С. 5–9.
2. Надёжность технических систем. Справочник под ред. И.А. Ушакова. Радио и связь, 1985.
3. Надёжность электрорадиоизделий. Справочник под ред. А.А. Борисова. МО, 2004.
4. Исаев В.М., Орлов В.А. Исследование влияния качества электрической энергии на эффективность функционирования радиоэлектронных средств. Экономика и производство. 2000. № 8. С. 21–23.



## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

### для монтажа на DIN-рейку

#### Выходные мощности от 5 до 480 Вт

- Универсальный вход 90...264 В (47...63 Гц)/90...375 В постоянного тока
- Широкий диапазон регулировки выходных напряжений (5, 12, 15, 24, 48 В)
- Прочная конструкция для промышленных применений
- Диапазон рабочих температур от -25 до +70°C (для 480-Вт моделей)
- Защита от перенапряжения, короткого замыкания; релейный выход состояния выходного напряжения (для 24-В моделей), параллельная работа
- MTBF: не менее 200 000 часов



Серия DNR



THE X P E R T S I N P O W E R

Официальный дистрибьютор в России, странах СНГ и Балтии – компания ПРОСОФТ

PROSOFT®

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

Реклама

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

(часть 7)

Валерий Зотов (Москва)

Седьмая часть курса знакомит с различными способами подготовки модуля описания тестовых воздействий, необходимого для функционального и временного моделирования разрабатываемого устройства. Рассматривается механизм использования временных и топологических ограничений в проектах, реализуемых на базе ПЛИС фирмы Xilinx с архитектурой CPLD и FPGA. Приведён синтаксис выражений типичных временных и топологических ограничений. Описаны различные способы подготовки модуля временных и топологических ограничений в САПР серии Xilinx ISE.

## СТРУКТУРА ТЕСТОВОГО МОДУЛЯ ПРОЕКТА

Для выполнения этапов функционального и временного моделирования необходимо сформировать описание тестовых воздействий, используемых в процессе верификации разрабатываемого устройства. Подготовка тестовых модулей может осуществляться как на этапе создания исходных описаний проектируемого устройства, так и непосредственно перед моделированием. В составе проекта могут использоваться несколько модулей описаний тестовых воздействий.

Тестовый модуль проекта фактически содержит представление модели испытательного стенда для разрабатываемого устройства на языке описания аппаратуры HDL. В дальнейшем для определённости предполагается, что процесс разработки выполняется при использовании средств синтеза XST (*Xilinx Synthesis Technology*) для языка VHDL. В этом случае тестовый модуль проекта имеет типовую структуру VHDL-описания, которая включает в себя следующие разделы:

- ссылки на используемые библиотеки и пакеты;
- описание интерфейса объекта (*ENTITY*);
- описание архитектуры объекта;
- декларацию компонента, представляющего модуль описания верхнего уровня иерархии проектируемого устройства;

- декларацию сигналов, используемых для подачи входных тестовых воздействий и контроля выходных реакций моделируемой системы;
- выражение для создания экземпляра компонента с подключением соответствующих сигналов;
- выражения, описывающие поведение входных тестовых сигналов.

В данном случае под объектом описания понимается модель испытательного стенда в целом, поэтому он не имеет интерфейсных сигналов (портов). Архитектура этого объекта содержит единственный компонент – разрабатываемое устройство.

## Способы подготовки тестового модуля проекта

«Мастер» подготовки модулей исходного описания проекта позволяет автоматически сформировать основу тестового файла, которая содержит все перечисленные выше разделы его структуры, за исключением описания поведения входных сигналов. Формирование описания входных тестовых воздействий может выполняться в текстовом виде (на языке VHDL или Verilog) при использовании интегрированного HDL-редактора или в графической форме (в виде временных диаграмм) с помощью редактора временных диаграмм *Test Bench Waveform Editor*, который входит в состав пакета САПР серии Xilinx ISE. Последний способ является более наглядным и не требует зна-

ния языков HDL. Программа *Test Bench Waveform Editor* автоматически транслирует созданные временные диаграммы тестовых сигналов в процессе их сохранения в текстовом формате выбранного языка HDL.

В последующих разделах рассматривается процесс подготовки тестовых модулей указанными выше способами. Для наглядности будет рассмотрен пример проекта реверсивного четырёхразрядного счётчика Джонсона. Различные варианты проекта данного устройства включены в комплект примеров пакета САПР серии Xilinx ISE. Описание счётчика Джонсона на языке VHDL имеет следующий вид:


```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
--
entity jc2_top is
port (
    LEFT : in STD_LOGIC;
    RIGHT : in STD_LOGIC;
    STOP : in STD_LOGIC;
    CLK : in STD_LOGIC;
    Q : inout STD_LOGIC_VECTOR
(3 downto 0) := "0000"
);
end jc2_top;
--
architecture jc2_top_arch of
jc2_top is
signal DIR: STD_LOGIC := '0';
signal RUN: STD_LOGIC := '0';
begin
--
process (CLK)
begin
if (CLK'event and CLK='1') then
--
-- DIR register:
if (RIGHT='0') then
DIR <= '0';
elsif (LEFT='0') then
DIR <= '1';
end if;
--
-- RUN register:
```

```

if (STOP='0') then
RUN <= '0';
elsif (LEFT='0' or RIGHT='0')
then
RUN <= '1';
end if;
--
-- Counter section:
if (RUN='1') then
if (DIR='1') then
Q(3 downto 1) <= Q(2 downto 0);
Q(0) <= not Q(3);
else
Q(2 downto 0) <= Q(3 downto 1);
Q(3) <= not Q(0);
end if;
end if;
--
end if;
end process;
--
end jc2_top_arch;

```

### СОЗДАНИЕ ТЕСТОВОГО МОДУЛЯ ПРОЕКТА В ТЕКСТОВОМ ФОРМАТЕ

Для автоматического формирования основы файла тестовой последовательности необходимо активизировать режим создания нового модуля исходного описания проекта, воспользовавшись кнопкой  на оперативной панели или командой *New Source* из раздела *Project* основного меню Навигатора проекта. В открывшейся диалоговой панели *Select Source Type* в качестве типа нового модуля следует выбрать строку *VHDL Test Bench*. Далее, необходимо задать имя создаваемого файла в поле редактирования *File Name* и указать место расположения файла на диске в поле редактирования *Location*, после чего нажатием клавиши *Next* перейти к следующей диалоговой панели с заголовком *Associate Source*.

Следует обратить внимание на то, что задаваемое название тестового модуля определяет имя объекта, представляющего моделируемую систему. Диалоговая панель *Associate Source* содержит список существующих модулей исходного описания проекта. В данном списке необходимо выделить элемент (с которым ассоциируется создаваемый тестовый модуль), поместив курсор на соответствующую строку и щёлкнув левой кнопкой мыши. Сделанный выбор подтверждается нажатием клавиши *Next*, расположенной в нижней части диалоговой панели *Associate Source*.

После этого открывается информационная панель, в которой отображаются значения всех параметров создаваемого тестового модуля. Если необходимо изменить значение какого-либо параметра, то кнопка *Back* позволяет вернуться к предыдущей диалоговой панели. Процесс генерации основы тестового модуля запускается нажатием кнопки *Finish*, находящейся в нижней части информационной панели. При успешном завершении данного процесса в окне исходных модулей Навигатора проекта добавляется пиктограмма, сопровождаемая названием созданного тестового модуля. Одновременно автоматически открывается окно встроенного HDL-редактора, в котором отображается код сформированного описания модели испытательной системы. В качестве примера далее приведён сгенерированный текст основы модуля описания тестовых воздействий на языке VHDL для реверсивного четырёхразрядного счётчика Джонсона:

```


LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.ALL;
USE ieee.std_logic_unsigned.all;
USE ieee.numeric_std.ALL;
--
ENTITY jc2_tst_vhd IS
END jc2_tst_vhd;
--
ARCHITECTURE behavior OF
jc2_tst_vhd IS
-- Component Declaration for
the Unit Under Test (UUT)
COMPONENT jc2_top
PORT(
LEFT : IN std_logic;
RIGHT : IN std_logic;
STOP : IN std_logic;
CLK : IN std_logic;
Q : INOUT std_logic_vector(3 downto 0)
);
END COMPONENT;
--Inputs
SIGNAL LEFT : std_logic :=
'0';
SIGNAL RIGHT : std_logic :=
'0';
SIGNAL STOP : std_logic :=
'0';
SIGNAL CLK : std_logic :=
'0';
--BiDirs
SIGNAL Q : std_logic_vector(3
downto 0);

```

```

--
BEGIN
-- Instantiate the Unit
Under Test (UUT)
ut: jc2_top PORT MAP(
LEFT => LEFT,
RIGHT => RIGHT,
STOP => STOP,
CLK => CLK,
Q => Q
);
--
tb : PROCESS
BEGIN
--
-- Wait 100 ns for global
reset to finish
wait for 100 ns;
-- Place stimulus here
wait; -- will wait forever
END PROCESS;
--
END;

```

Далее необходимо дополнить сформированный модуль выражениями, описывающими изменение входных сигналов во времени. Для этого можно воспользоваться соответствующими шаблонами интегрированного HDL-редактора. После завершения редактирования тестового файла следует обязательно его сохранить, выполнив команду *Save* из всплывающего меню *File* или нажав кнопку , расположенную на оперативной панели управления Навигатора проекта. В качестве примера на сайте журнала представлен отредактированный текст завершённого тестового модуля для проекта реверсивного четырёхразрядного счётчика Джонсона, который позволяет промоделировать основные режимы работы этого устройства.

### ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВОГО МОДУЛЯ ПРОЕКТА В ФОРМЕ ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ

Для формирования тестового модуля проекта в виде временных диаграмм сигналов следует повторить последовательность операций создания основы нового тестового модуля проекта, рассмотренную в предыдущем разделе. При этом в списке типов исходных модулей диалоговой панели *Select Source Type* необходимо выбрать строку *Test Bench Waveform*. По окончании подготовки основы тестового модуля в виде временных диаграмм авто-

матически производится запуск «мастера» инициализации временных параметров процесса моделирования и выбора тактовых сигналов *Initial Timing and Clock Wizard*, работа которого начинается с вывода на экран диалоговой панели *Initialize Timing*.

Данная диалоговая панель предназначена для определения значений основных временных параметров, используемых в процессе формирования описаний тестовых воздействий. В ней, прежде всего, целесообразно указать длительность формируемых временных диаграмм. Для этого следует выбрать единицы измерения длительности, используя выпадающий список возможных значений поля *Time scale*. Затем в поле редактирования *Initial Length of Test Bench* необходимо указать числовое значение, которое будет определять длительность генерируемых тестовых сигналов в выбранных единицах измерения.

Временные параметры, необходимые для формирования тестовых сигналов, различаются для синхронных и асинхронных устройств. «Мастер» инициализации временных параметров процесса моделирования и выбора тактовых сигналов *Initial Timing and Clock Wizard* автоматически определяет тип устройства, для которого разрабатываются тестовые последовательности. Для отображения и изменения типа моделируемого устройства предназначена группа кнопок с зависимой фиксацией, расположенная во встроенной панели *Clock Information* стартовой диалоговой панели «мастера». Если разрабатываемое устройство является синхронным и для его тактирования используется один внешний сигнал синхронизации, то кнопка *Single Clock* автоматически устанавливается в нажатое состояние. При формировании тестового модуля для синхронного устройства с несколькими внешними тактовыми сигналами кнопка *Multiple Clocks* должна быть нажатой. Для подготовки файла временных диаграмм тестовых сигналов, который должен использоваться в процессе моделирования асинхронных устройств или устройств с внутренним тактовым сигналом, в нажатое состояние необходимо переключить кнопку *Combinatorial (or internal clock)*.

При создании модуля тестовых воздействий для синхронного устройства, управляемого одним внешним

тактовым сигналом, необходимо, прежде всего, проконтролировать и при необходимости изменить выбор порта основного тактового сигнала. Для этого следует воспользоваться полем выбора *Single Clock*, которое расположено во встроенной панели *Clock Information*. Выпадающий список этого поля выбора содержит названия всех интерфейсных сигналов (портов) разрабатываемого устройства, среди которых необходимо выбрать идентификатор требуемого сигнала (порта).

Далее, необходимо определить длительность состояний высокого и низкого логического уровня периода тактового сигнала в поле редактирования *Clock High Time* и *Clock Low Time* соответственно. По умолчанию в этих полях указана длительность каждого состояния сигнала синхронизации, равная 100 нс. Кроме того, в поле редактирования *Input Setup Time* следует указать минимальное значение времени установки входных сигналов, а в поле *Output Valid Delay* – максимальное значение задержки появления достоверных значений выходных сигналов. По умолчанию для этих параметров предлагается значение, равное 15 нс. Значение параметра *Offset* определяет длительность начальной задержки тактового сигнала. По умолчанию начальная задержка при формировании описания сигнала синхронизации не используется (значение параметра *Offset* равно нулю).

Для указания способа тактирования моделируемого устройства следует воспользоваться группой кнопок с зависимой фиксацией, которая находится во встроенной панели *Clock Timing Information*. Если разрабатываемое устройство тактируется фронтом сигнала синхронизации, то необходимо зафиксировать в нажатом состоянии кнопку *Rising Edge*. При тактировании проектируемого устройства спадом сигнала синхронизации следует переключить в нажатое положение кнопку *Falling Edge*. Если формируемая последовательность сигналов предназначена для моделирования устройств, тактируемых фронтом и спадом сигнала синхронизации, то в нажатом состоянии должна находиться кнопка *Dual Edge*. По умолчанию «мастер» инициализации временных параметров процесса моделирования и

выбора тактовых сигналов *Initial Timing and Clock Wizard* предлагает вариант тактирования моделируемого устройства по фронту сигнала синхронизации.

Если в формируемом описании модели разрабатываемого устройства необходимо учесть глобальные сигналы сброса/установки (GSR для ПЛИС семейств FPGA или PRLD для кристаллов CPLD), то следует установить в состояние «включено» соответствующий индикатор, расположенный во встроенной панели *Global Signals*. При этом становится доступным поле редактирования *High for Initial*, в котором указывается длительность активного уровня глобального сигнала инициализации.

При создании тестов для комбинационных устройств или устройств с внутренней синхронизацией необходимо указать только значения параметров *Check Outputs* и *Assign Inputs*. Эти параметры позволяют исключить возможные конфликты в моменты изменения входных и выходных сигналов. Значение параметра *Check Outputs* определяет временной интервал между моментами подачи входных воздействий и формирования соответствующих достоверных значений выходных сигналов. С помощью значения параметра *Assign Inputs* задаётся величина временного интервала между изменением состояния выходного сигнала одного логического блока и появлением достоверных уровней сигналов на входах следующего блока.

Если проектируемое устройство является синхронным, то для включения поддержки асинхронных сигналов при формировании описания тестовых воздействий следует установить индикатор *Add Asynchronous Signal Support* в состояние «включено».

Процесс установки требуемых значений временных параметров моделирования для асинхронных устройств и синхронных устройств с одним внешним тактовым сигналом или внутренней синхронизацией завершается нажатием кнопки *Finish*, расположенной в нижней части стартовой диалоговой панели *Initialize Timing*. В том случае, если в моделируемом устройстве применяются несколько внешних тактовых сигналов, для выбора сигналов синхронизации используется следующая диалоговая панель «мастера» инициализации вре-

менных параметров процесса моделирования и выбора тактовых сигналов *Initial Timing and Clock Wizard*, которая открывается при нажатии кнопки *Next* в стартовой диалоговой панели.

Во второй диалоговой панели, которая имеет заголовок *Clock Selection*, представлен список всех интерфейсных сигналов разрабатываемого устройства. В этом списке необходимо выделить названия тех сигналов, которые будут использоваться в качестве тактовых. После этого, нажав кнопку *Next* в диалоговой панели *Clock Selection*, переходим к следующей (предпоследней) панели «мастера» *Initial Timing and Clock Wizard* с заголовком *Clock and Signal Association*. Открывшаяся диалоговая панель позволяет указать для каждого тактового сигнала список ассоциируемых с ним входных и выходных сигналов. Для этого в списке тактовых сигналов, представленном во встроенной панели *Clocks*, необходимо выделить название одного из сигналов синхронизации.

Затем в списке входных и выходных сигналов разрабатываемого устройства, который отображается

во встроенной панели *Unassigned Signals*, следует выделить идентификаторы сигналов, которые ассоциируются с тактовым сигналом, выбранным во встроенной панели *Clocks*. При нажатии кнопки *<-Add*, расположенной в этой же диалоговой панели, выделенные названия сигналов переносятся во встроенную панель *Assigned Signals*. Указанную последовательность действий необходимо повторить для каждого тактового сигнала, после чего можно перейти к заключительной диалоговой панели «мастера» инициализации временных параметров процесса моделирования и выбора тактовых сигналов *Initial Timing and Clock Wizard*.

В данной панели, которая имеет заголовок *Clock Timing Setup*, следует поочередно указать значения временных параметров и активный перепад (фронт или спад) для каждого внешнего тактового сигнала. Для этого необходимо выделить во встроенной панели *Clocks* соответствующий сигнал синхронизации, а затем во встроенной панели *Clock Timing* определить значения параметров *Clock High Time*, *Clock Low Time*, *Input*

*Setup Time*, *Output Valid Delay* и *Offset* для выбранного сигнала с помощью одноименных полей редактирования. Для установки одинаковых значений временных параметров всех тактовых сигналов можно воспользоваться кнопкой *Set All*.

Чтобы вернуться к значениям временных параметров всех тактовых сигналов, задаваемым по умолчанию, необходимо нажать кнопку *Reset All*. Способ тактирования для каждого внешнего сигнала синхронизации указывается с помощью кнопок *Rising Edge*, *Falling Edge* и *Dual Edge*, которые расположены в этой же встроенной панели.

После завершения работы «мастера» инициализации временных параметров процесса моделирования и выбора тактовых сигналов *Initial Timing and Clock Wizard*, в области расположения рабочих окон Навигатора проекта автоматически открывается новое окно редактора временных диаграмм *Test Bench Waveform Editor*, в котором отображаются заготовки временных диаграмм. ©

Продолжение следует



# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОНИКА. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

межрегиональная специализированная выставка

## 30 ОКТЯБРЯ - 1 НОЯБРЯ 2007

**Организатор:** Компания «ЭкспоГрад»

**Разделы выставки:**

- **Приборы:** контрольно-измерительные, испытательные, лабораторные, диагностические
- **Электроника:** электронные устройства, элементная база, печатные платы, микросхемы, телекоммуникационные устройства, радиостанции, АСУ, полупроводники
- **Электротехника:** высоковольтная аппаратура, генераторы, кабельная и проводная продукция, низковольтная аппаратура, трансформаторы, реакторы, электродвигатели, электроизоляторы, электростанции, электрощитовое оборудование, источники питания
- **Комплексная автоматизация производства**
- **Передовые технологии производства**
- **Оборудование, компоненты, материалы**
- **Датчики, системы идентификации, первичные преобразователи, электроприводы**
- **Защита интеллектуальной собственности**
- **Специализированная литература**

**В программе:**

- Научно-техническая конференция по тематическим направлениям выставки
- Презентации отечественных и зарубежных разработок
- Семинары и консультации специалистов

**Место проведения:**

Екатеринбург  
ГРВЦ, ул. Громова, 145

**Выставочный оператор:**

Компания «ЭкспоГрад»  
Т/ф. (343) 379-04-28 (29), 379-04-46  
E-mail: pribor@expograd.ru  
www.expograd.ru

**Время работы:**

30-31 октября с 10.00 - 18.00  
1 ноября с 10.00 - 16.00

Реклама

# Разработка программ для КПК, коммуникаторов и смартфонов с помощью Pelles C for Windows

Олег Вальпа (Челябинская обл.)

**В статье описывается среда разработки и методика быстрого создания программ для карманных персональных компьютеров, коммуникаторов и смартфонов типа Pocket PC с операционной системой Windows CE.**

Карманные персональные компьютеры (КПК), коммуникаторы и смартфоны активно входят в жизнь современных людей. Сочетая в себе множество полезных функций, таких как часы, будильник, калькулятор, календарь с органайзером, справочники, GPS-навигаторы, GPRS-модемы и др., они помогают людям организовать своё время, быстро произвести расчёты, оперативно найти необходимую информацию, изучать иностранные языки, отправлять и получать электронную почту, посетить Интернет, развлечься игрой и т.д. И, конечно же, основным преимуществом для пользователя КПК является возможность совершать данные операции, находясь практически в любом месте, благодаря компактности и мобильности этих устройств.

КПК могут работать под управлением различных операционных систем, таких как Palm OS, Symbian, Windows CE (Pocket PC), которые позволяют разрабатывать красивые приложения, активно использующие мультимедийные возможности устройства.

В мире создано большое количество программ для мобильных устройств, благодаря которым их функциональность значительно возрастает. Тем не менее, в жизни очень часто возникают задачи, для решения которых требуется специальная программа, которую невозможно найти среди существующих. В этом случае требуется создание новой программы.

Рассмотрим методику создания программ для КПК и смартфонов с самой распространённой операционной системой Windows CE, разновидности которой имеют названия Windows Mobile различных версий и Pocket PC. Отличительной чертой Windows CE является поддержка фонов Microsoft True Type.

Этот популярный формат позволяет удовлетворить практически любые дизайнерские потребности.

Существует множество как платных, так и бесплатных средств разработки программ для КПК. Эти средства позволяют разрабатывать программы на разных языках программирования, таких как Ассемблер, Visual C, Visual Basic, Fort, Perl и др.

Мощное средство разработки бесплатно предоставляет компания Microsoft на своём интернет-сайте [1]. Однако это средство довольно сложное и требует установки на компьютер с операционной системой Windows XP громоздких средств разработки Visual Studio 2005 Professional и MSDN объёмом более 3 Гб, а также Windows Mobile 5.0 SDK объёмом 174 Мб и эмуляторов.

Описываемый здесь способ позволяет обойтись установкой на компьютер средства для разработки объёмом чуть более 7 Мб. Это средство имеет название Pelles C for Windows и свободно доступно на сайте его разработчиков [2]. Программы, созданные с его помощью, были успешно протестированы автором на КПК Pocket PC Loox N520 с операционной системой Windows Mobile 5.0.

Причём данное средство разработки позволяет создавать разнообразные программы не только для КПК, но и для обычных стационарных персональных компьютеров, а также для смартфонов и коммуникаторов.

Данный пакет разработки включает в себя интерфейс среды разработки IDE, компилятор языка программирования Си, заголовочные файлы и библиотеки под разные платформы, набор полезных утилит, примеры кода и встроенный справочник среды разработки и стандарта языка программирования ISO C99. Пакет позволяет создавать

программы, работающие на стационарных персональных компьютерах с операционными системами Windows 98/Me/NT4/2000/XP, а также на КПК, коммуникаторах и смартфонах с различными версиями операционной системы Windows CE.

Рассмотрим процесс установки и создания с его помощью разнообразных программ для КПК.

Загрузив из Интернета файл программы с именем setup.exe [2], необходимо запустить на выполнение эту программу установки. После запуска программы на экране монитора компьютера появится окно с текстом лицензионного соглашения.

Для принятия данного соглашения после его прочтения необходимо установить флажок перед строкой I accept the terms in the license agreements и щёлкнуть по программной кнопке Next.

Далее программа установки отобразит окно с сообщением о поддерживаемых средой разработки операционных системах, рекомендациях использования программы и сведениях о месте нахождения примеров программ.

После ознакомления с предоставленной информацией необходимо щёлкнуть по программной кнопке Next для продолжения.

В следующем окне предлагается установить некоторые параметры, определяющие состав устанавливаемых файлов среды разработки, поддержку национальных языков некоторых стран и ассоциацию расширений файлов для устанавливаемой среды.

Здесь следует оставить предложенные установки и дополнительно установить флажок перед строкой Pocket PC development. После этого надо щёлкнуть по программной кнопке Next.

В следующем окне будет указано место предстоящей инсталляции пакета. По умолчанию будет предложен каталог C:\Program Files\PellesC. При желании место установки пакета можно изменить, отредактировав приведённую

строку с именем каталога или используя программную кнопку навигации Browse.

Далее следует щёлкнуть по программной кнопке Install для выполнения процедуры инсталляции. После этого начнётся процесс распаковки и записи файлов программного пакета в указанный каталог. Процесс установки можно контролировать визуально, нажав программную кнопку Show details в отображаемом окне программы установки.

После окончания установки всех файлов будет отображено окно с сообщением об успешной установке программы. Для завершения установки следует нажать программную кнопку Close в этом окне. После этого программа установки предложит запустить среду разработки, отображив соответствующее окно сообщения.

Здесь можно согласиться с запуском программы, щёлкнув по программной кнопке Да (Yes), или отказаться от немедленного запуска, щёлкнув по кнопке Нет (No).

После установки программа среды разработки Pelles C IDE будет находиться в каталоге C:\Program Files\PellesC\Bin\poide.exe.

Её можно запустить на выполнение в любое время с помощью команды Пуск → Программы → Pelles C for Windows → Pelles C IDE. Помимо среды разработки можно вызвать справочные службы среды разработки или консольную оболочку программы Pelles C Command Promt.

После запуска среды разработки Pelles C IDE на экране монитора появится окно заставки программы.

Это окно исчезает через несколько секунд самостоятельно, а также принудительно после щелчка по нему левой кнопкой мыши.

Под этим окном располагается среда разработки, имеющая привычный интерфейс программ для Windows.

Рассмотрим пример создания программы, демонстрирующий работу в данной среде разработки и позволяющий быстро научиться разрабатывать собственные программы для КПК и смартфонов.

В качестве такого примера создадим программу, которая позволит производить вычисления по конвертированию рублей в валюту других стран, а именно в доллары США и в евро. Данный пример программы позволит продемонстрировать создание диалоговых программ для КПК с операциями ввода чисел, вычислений над ними и отображения результатов.

Итак, после запуска среды разработки Pelles C IDE последовательно выберите в

главном меню интерфейса среды команды File → New → Project, как это показано на рис. 1. После этого на экране компьютера отобразится окно мастера новых проектов (рис. 2).

С помощью данного мастера можно создавать заготовки программ различного назначения для разных операционных систем. Вид отображения иконок программных приложений данного окна можно изменять с помощью двух программных кнопок, расположенных в верхней правой части окна.

Выделите в этом окне программное приложение мастера с названием Pocket PC application wizard. В строке с заголовком Name введите имя нового проекта с названием exchange и щёлкните по программной кнопке ОК.

В следующем открывшемся окне мастера приложений отредактируйте имя будущей программы, удалив в предложенном названии exchange Program слово Program и оставив только имя exchange.

Ниже имени программы предлагается выбрать тип проекта.

Первый из этих типов позволит создать заготовку программы простейшего приложения.

Второй тип проекта создаёт знакомую многим программу, которая при запуске на КПК отображает сообщение Hello, world! («Здравствуй, мир!»). В будущем можно будет создать любой из предлагаемых типов для самостоятельного изучения создаваемых проектов.

Для нашей программы среди предлагаемых типов проекта следует выбрать тип A dialog based program. После этого следует нажать программную кнопку «Далее».

В последнем окне мастера приложений выводится сообщение о том, какие файлы были созданы в процессе его работы и в каком каталоге они находятся.

Для завершения работы мастера приложений в этом окне следует нажать программную кнопку «Готово». После этого в правой части окна среды разработки отобразится состав созданного проекта в виде структуры каталога и перечня файлов с иконками (рис. 3).

Познакомиться с основными понятиями проектов для Windows можно в [3].

Для редактирования ресурсов программы дважды щёлкните по иконке с именем файла main.rc. При этом в левой части окна среды разработки отобразится раскрывающийся состав данного файла (рис. 4).

Здесь необходимо дважды щёлкнуть по названию файла DLG\_MAIN для рас-

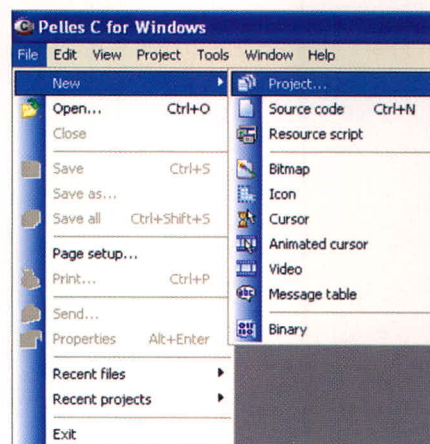


Рис. 1. Выбор нового проекта

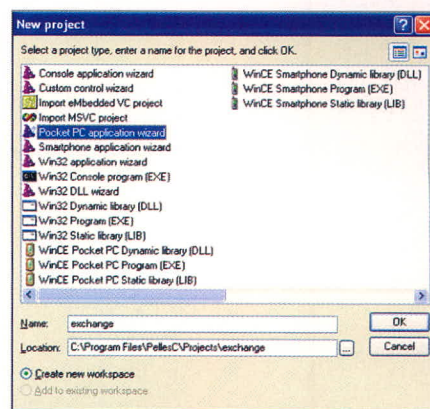


Рис. 2. Окно мастера новых проектов

крытия его содержимого и последующего редактирования. При этом откроется окно для редактирования данного ресурса. Для удобства редактирования раскройте и расположите элементы данного окна по своему вкусу.

Используя палитру компонентов, поместите на окно главной формы программы три компонента Editbox, семь компонентов Text и два компонента кнопок Pushbutton, как это показано на рис. 5.

Теперь необходимо изменить свойства Name и Text помещённых на форму программы компонентов. Для этого необходимо щёлкнуть по компоненту, чьи свойства подлежат редактированию, а затем дважды щёлкнуть в окне свойств по строке, подлежащей редактированию, и ввести новые значения. Например, для кнопки ОК следует заменить в свойстве Text слово ОК на слово «Выход». Для остальных компонентов необходимо произвести изменения свойств в соответствии с таблицей. Это позволит инициализировать начальные значения, сформировать осмысленное содержание формы программы и использовать в программе заданные имена компонентов для обращения к ним.

В результате такого редактирования должно получиться окно формы.

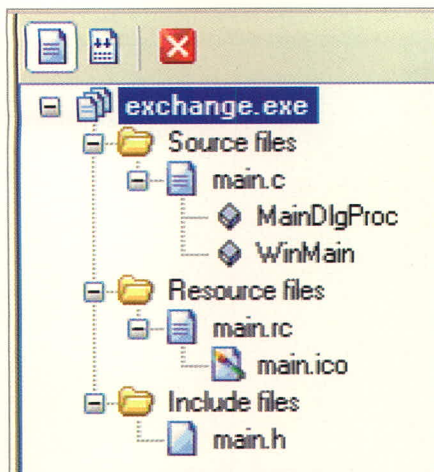


Рис. 3. Структура каталога и перечень файлов с иконками

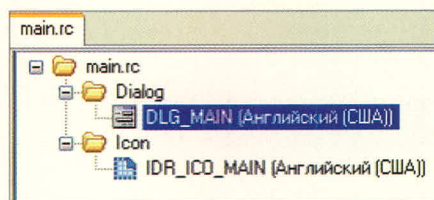


Рис. 4. Левая часть окна среды разработки

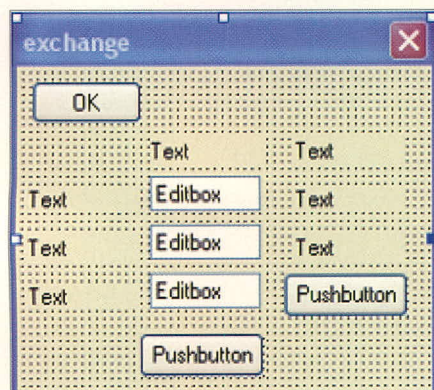


Рис. 5. Окно главной формы программы

Теперь можно выполнить трансляцию программы с помощью команд меню Project → Build или нажав на клавиатуре компьютера клавиши Ctrl и B.

При успешной трансляции в окне сообщений, расположенном внизу интер-

фейса разработки, должны последовательно появиться строки сообщений:

```
Building main.obj
Building main.res
Building exchange.exe
Done
```

При этом средой разработки будет создан исполняемый код программы exchange.exe и код программы main.c. Код программы можно просмотреть и отредактировать, щёлкнув дважды по имени файла main.c в правом окне среды разработки. При этом откроется окно редактирования кода, текст которого приведён в файле Листинг 1 в дополнительных материалах к статье на сайте журнала.

Вставьте в текст этой программы после строки #include <main.h> строку комментария и две строки макроопределений, которые будут использоваться в программе:

```
/* Пользовательские макроопределения */
#define NELEMS(a) (sizeof(a) / sizeof((a)[0]))
#define SetDlgItemFocus(hwnd, idCtl) FORWARD_WM_NEXTDLGCTL( hwnd, GetDlgItem( hwnd, idCtl), TRUE, PostMessage)
```

После строки комментария /\* TODO: Add more control ID's, when needed.\*/, предлагающей ввести код программы для обработки дополнительных кнопок программы, введите текстовые строки программы из файла Листинг 2, приведённого на сайте журнала.

Данный листинг снабжён комментариями, поясняющими действия, которые выполняются программой, обрабатывающей ввод данных, нажатие про-

граммных кнопок и отображение результата вычислений.

На этом редактирование программы заканчивается, и можно выполнить её окончательную трансляцию, нажав клавиши Ctrl и B.

После успешной трансляции программы загрузите файл с её исполняемым кодом, имеющим имя exchange.exe, в КПК и запустите в нем эту программу. Для загрузки программы в КПК используется специальный загрузочный кабель связи КПК с персональным компьютером и программа ActiveSync, поставляемые в комплекте с КПК.

После запуска программы на КПК введите в поле «Рубли» с помощью цифровых клавиш сенсорной виртуальной клавиатуры произвольную сумму и щёлкните стилусом по кнопке «Обмен». При этом программа произведёт вычисления и отобразит под словом «Сумма» количество долларов и евро, которые можно обменять на введённую сумму рублей.

Окно копии работы программы КПК можно получить с помощью самой среды разработки. Для этого необходимо выполнить команды главного меню интерфейса разработки Tools → Capture Screen from Pocket PC и в открывшемся окне программы выполнить команды File → New bitmap.

Как было сказано вначале, среда разработки позволяет создавать программы не только для КПК, но и для смартфонов с операционной системой Windows CE или Windows Mobile. Принципиальных отличий в разработке программ для этих устройств нет. Необходимо лишь при создании проекта использовать соответствующий мастер проектов для смартфона.

Помимо основных средств для программирования, среда разработки предоставляет разработчику встроенные редакторы ресурсов программы, позволяющие создавать иконки и другие рисунки, файлы разных форматов и прочие объекты, используемые разрабатываемой программой.

Аналогично рассмотренному примеру можно создавать различные программы специального назначения для решения возникающих задач с помощью КПК или смартфона.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. <http://www.microsoft.com>.
2. <http://www.smorgasbordet.com/pellesc>.
3. Вальна О.Д. Borland C++ Builder. Экспресс-курс. СПб.: ВHV, 2006.

Таблица 1. Новые свойства компонентов программы

| Компонент  | Свойство   |             |
|------------|------------|-------------|
|            | Text       | Name        |
| Text       | Курс       | Не изменять |
| Text       | Сумма      | Не изменять |
| Text       | Доллар США | Не изменять |
| Text       | Евро       | Не изменять |
| Text       | Рубли      | Не изменять |
| Text       | 0          | IDTEXT1     |
| Text       | 0          | IDTEXT2     |
| Editbox    | 26.5       | IDEDIT1     |
| Editbox    | 34.5       | IDEDIT2     |
| Editbox    | 0          | IDEDIT3     |
| Pushbutton | Обмен      | IDRUN       |
| Pushbutton | Сброс      | IDINIT      |

### ***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.

Оформить платную подписку можно в почтовом отделении через агентство «Роспечать». Подписаться можно как на 6 месяцев, так и на год.

#### ***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.

#### ***«Роспечать»***

по каталогу агентства «Роспечать»

Подписные индексы:

- на полугодие – 46459,
- на год – 36280

Тел.: (495) 101-2550

Факс: (495) 785-1470

Оформить платную подписку можно также через альтернативные подписные агентства. Вы можете воспользоваться их услугами, сравнить цены и удобство условий подписки на наше издание.

#### ***«Вся пресса»***

Тел.: (495) 906-0735/0726

E-mail: allpress@sovintel.ru

#### ***«Артос-ГАЛ»***

Тел.: (495) 603-2730/2731/2732

#### ***«Интер-Почта-2003»***

Тел./факс: (495) 688-7398

#### ***Красносельское агентство «Союзпечать»***

Тел.: (495) 707-1288/1289



**Уважаемые читатели!**

Редакция журнала «Современная электроника» проводит актуализацию информации о подписчиках журнала.

Для получения бесплатной подписки на журнал «Современная электроника» с №7 2007 г. заполните данную анкету и отправьте её по факсу (495) 232-1653 или по адресу: 119313 Москва, а/я 26.

Анкету можно также заполнить на web-сайте журнала «Современная электроника» <http://www.soel.ru/>.

Обращаем ваше внимание, что редакция оформляет бесплатную подписку только для квалифицированных специалистов, аккуратно и полностью заполнивших анкету.

Для гарантированного получения журнала «Современная электроника» вы можете оформить платную подписку (информация на сайте [www.soel.ru](http://www.soel.ru/)).

Поля, отмеченные \*, обязательны для заполнения. Можно отмечать несколько пунктов в одном разделе анкеты.

 / 

Укажите в этом поле ваш идентификационный номер из двух чисел, который напечатан на адресной наклейке конверта, в котором вы получаете журнал, – это ускорит обработку анкеты

Фамилия, имя, отчество\* \_\_\_\_\_

Организация\* \_\_\_\_\_

Должность\* \_\_\_\_\_

Телефон\* \_\_\_\_\_

E-mail\* \_\_\_\_\_

Отдел \_\_\_\_\_

Факс\* \_\_\_\_\_

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.



## ПРЕВОСХОДСТВО В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ

Новая технология применения жидких кристаллов и оптимизация теплоотвода

### УСТОЙЧИВОСТЬ К ТЕМПЕРАТУРАМ

|                              | Обычный LCD  | Strong LCD1  | Strong LCD2  |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Рабочий диапазон температур  | 0 до +50°C   | -10 до +65°C | -30 до +80°C |
| Диапазон температур хранения | -25 до +60°C | -30 до +70°C | -30 до +80°C |

Усилена модульная конструкция

### УСТОЙЧИВОСТЬ К УДАРАМ И ВИБРАЦИИ

|                                  | Обычный LCD                    | Strong LCD1                    | Strong LCD2                              |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| 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

Значительно повышена благодаря улучшению прозрачности панели и разработке яркой системы задней подсветки

|         | Обычный LCD           | Strong LCD1                      | Strong LCD2                      |
|---------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Яркость | 300 кд/м <sup>2</sup> | Больше чем 300 кд/м <sup>2</sup> | Больше чем 400 кд/м <sup>2</sup> |

### КОНТРАСТНОСТЬ

Подавляя яркость экрана при отображении чёрного и адаптируя новую систему управления, получаем повышенную контрастность

|          | Обычный LCD | Strong LCD1 | Strong LCD2 |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| Контраст | 350 : 1     | 350 : 1     | 600 : 1     |

### SHARP Strong2 LCD-панели

| № модели    | Размер дисплея | Разрешение, пикс. | Контраст | Яркость, кд/м <sup>2</sup> | Входной сигнал     |
|-------------|----------------|-------------------|----------|----------------------------|--------------------|
| LQ057V3DG01 | 5,7" TFT       | 640 × 480         | 600 : 1  | 400                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ075V3DG01 | 7,5" TFT       | 640 × 480         | 600 : 1  | 400                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ084V3DG01 | 8,4" TFT       | 640 × 480         | 600 : 1  | 400                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ104V1DG61 | 10,4" TFT      | 640 × 480         | 600 : 1  | 450                        | Цифровой 6-бит RGB |
| LQ121S1DG61 | 12,1" TFT      | 800 × 600         | 600 : 1  | 450                        | Цифровой 6-бит RGB |

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР SHARP

# E·X·P·O ELECTRONICA



Совместно с:  
**ElectronTech expo**

www.expoelectronica.ru

11-я МЕЖДУНАРОДНАЯ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА  
ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

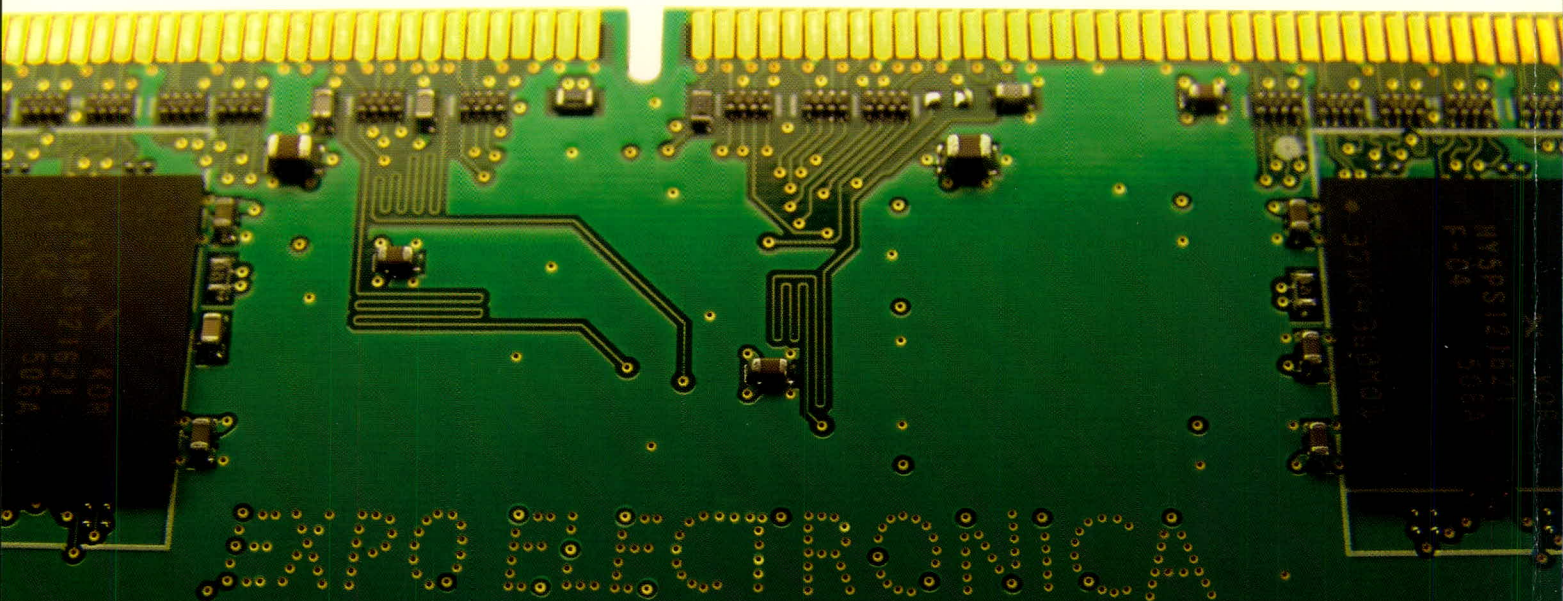
## 15-18 АПРЕЛЯ \ 2008

ufi  
Approved  
Event



"Благодарный партнер"  
Специальный приз конкурса

МОСКВА  КРОКУС ЭКСПО  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР



ДЛЯ ВЫСТАВКИ

# ВАША КОНТАКТНАЯ ПЛОЩАДКА

Организаторы:



ITE GROUP P.C.

Тел.: +7(812)380 6003

+7(812)380 6007

+7(812)380 6000

Факс: +7(812)380 6001

E-mail: electron@primexpo.ru

При содействии:

