

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 7 2015



## В номере:

- Двухканальная ИС с программируемыми параметрами
- Расширение полосы пропускания осциллографов
- Архитектура систем тестирования ИС
- Испытания датчиков угловой скорости и кажущегося ускорения
- Цепи стабилизации для одноктных преобразователей
- «РобоСектор», «Комплексная безопасность»  
и форум «SEMICON Russia»





# ПРИГЛАШАЕМ НА ВИРТУАЛЬНУЮ ЭКСКУРСИЮ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДОЛОМАНТ

[WWW.FACTORY.DOLOMANT.RU](http://www.FACTORY.DOLOMANT.RU)



## ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ ВЫСШЕЙ КАТЕГОРИИ НАДЁЖНОСТИ

- **15 лет импортозамещения:** контрактное производство в России на европейском уровне
- **Весь цикл производства:** от образцов и макетов изделий до серийной партии, от модуля до блока
- **Полный комплекс услуг:** участие в ОКР, поддержание склада для серийных программ, сервисное обслуживание

# Е•Х•Р•О ELECTRONICA



ufi  
Approved  
Event

**19-я Международная выставка**  
электронных компонентов,  
модулей и комплектующих



15–17 марта  
**2016**  
Москва, Крокус Экспо

**ВСЕ ЦВЕТ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Совместно  
с выставкой



Организаторы:



+7 (812) 380 6003/07/00  
electron@primexpo.ru

**Забронируйте стенд на сайте: [exproelectronica.ru](http://exproelectronica.ru)**

## Главный редактор

Алексей Смирнов

## Заместитель главного редактора

Александр Хлынов

## Редакционная коллегия

Александр Балакирев, Андрей Данилов,  
Виктор Жданкин, Эрмин Машурян,  
Сергей Сорокин, Андрей Туркин,  
Рифат Хакимов

## Литературный редактор

Ольга Семёнова

## Вёрстка

Марина Петрова

## Обложка

Дмитрий Юсим

## Распространение

Ирина Лобанова  
(info@soel.ru)

## Реклама

Ирина Савина  
(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



Производственно-практический журнал  
Выходит 9 раз в год

Тираж 10 000 экземпляров

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе

по надзору за соблюдением законодательства

в сфере массовых коммуникаций

и охране культурного наследия

(свидетельство ПИ № ФС77-18792

от 28 октября 2004 года)

Свидетельство № 00271-000

о внесении в Реестр надёжных партнёров

Торгово-промышленной палаты Российской Федерации

Цена договорная

Отпечатано: ООО ПО «Периодика»

Адрес: 105005, Москва, Гарднеровский пер.,

д. 3, стр. 4

http://www.printshop13.ru

Перепечатка материалов допускается только

с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы

несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей

несут авторы.

Материалы, переданные редакции,

не рецензируются и не возвращаются.

© СТА-ПРЕСС, 2015

# 7/2015 Contents

## MARKET

Russian Market News .....	4
---------------------------	---

## MODERN TECHNOLOGIES

Photon and Relativistic Energy Based on LPE i-GaAs Single Crystals .....	12
--	----

*Victor Voytovych, Aleksandr Gordeev, Anatoliy Zvonarev*

The New Method of Mounting Ceramic Substrate .....	20
--	----

*Tamara Borisova, Nadezhda Olenina, Aleksandr Seregin*

## ELEMENTS AND COMPONENTS

Analog Devices's Modern MEMS Products. Part 2 .....	24
---	----

*Yuriy Petropavlovskiy*

Modern 32-bit ARM Microcontrollers Series STM32: Interrupt System .....	30
--	----

*Oleg Val'pa*

Two-Channel Analog Integrated Circuit with Programmable Parameters .....	34
--	----

*Oleg Dvornikov, Vladimir Chehovskiy, Valentin Dyatlov, Nikolay Prokopenko*

Unified Bandpass LC-Filters Using Integrated Technique .....	38
---	----

*Denis Boreyko, Tatyana Khrolenko, Andrey Jakovlev*

## DEVICES AND SYSTEMS

Techniques for Extending Real-Time Oscilloscope Bandwidth .....	44
---	----

The ABI's chip test architecture .....	50
--	----

*Ian Fletcher*

Control Tests of Angular Speed Sensors and Apparent Acceleration Sensors .....	52
--	----

*Dmitriy Gamanuk*

## ENGINEERING SOLUTIONS

Regulation Circuit for Single-Ended Voltage Converters .....	58
--	----

*Vladimir Groshev*

Electrical Circuit with Commutating IGBT-Transistors for Gasdischarging Lamps .....	64
--	----

*Yuriy Mandryko*

## DESIGN AND SIMULATION

Compact Transistor Models: the Roadmap to First-Pass Amplifier Design Success .....	70
--	----

*Tony Gasseling*

Using A Synthesis-Based Approach to Quickly and Easily Design a Class E Amplifie....	78
--	----

*Matt Ozalas*

Solid Edge in Instrument Making .....	82
---------------------------------------	----

*Pavel Demidov*

New in OrCAD 16.6-2015 .....	86
------------------------------	----

*Anatoliy Sergeev*

## EVENTS

RoboSector-2015: Combining Experience and Technology .....	92
--	----

Intel Celebrates Moore's Law 50th Anniversary in Russia .....	94
---	----

Precise Measurements is the Basis of Quality and Safety in 2015 .....	98
---	----

«Integrated Safety-2015» .....	102
--------------------------------	-----

SEMICON Russia Forum: All-Russian Microelectronics Closeup .....	104
--	-----

## COMPETENT OPINION

How to Replace P-CAD .....	112
----------------------------	-----

*Vlad Khomenko*

# Содержание 7/2015

ПОДПИСКА 2016

Концепция распространения журнала – бесплатная подписка для специалистов. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление на каждый последующий год. Редакция напоминает о необходимости продления подписки на 2016 год.

## Электронная версия для мобильных устройств

Скачивайте бесплатное приложение «Современная электроника» в **Google Play** для пользователей устройств на платформе Android (в разделе «Приложения/Бизнес») и **App Store** для пользователей iOS (в разделе «Бизнес»). С помощью этого приложения можно бесплатно читать с экрана номера наших журналов. К новым номерам журнала доступ в приложении платный.

### ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА

#### Преимущества:

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

#### «Роспечать»

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

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

на полугодие – **46459**, на год – **36280**.

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

#### «Урал-Пресс»

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

#### Читатели из дальнего зарубежья

могут оформить подписку через агентство

#### «МК-Периодика»

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

### РЫНОК

4 Новости российского рынка

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12 Фотонная и релятивистская энергетика на основе LPE i-GaAs-монокристаллов

*Виктор Войтович, Александр Гордеев, Анатолий Звонарёв*

20 Новый метод монтажа изделий на керамической подложке

*Тамара Борисова, Надежда Оленина, Александр Серёгин*

### ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

24 Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices. Часть 2

*Юрий Петропавловский*

30 Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: система прерываний

*Олег Вальпа*

34 Двухканальная аналоговая ИС с программируемыми параметрами

*Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов, Николай Прокопенко*

38 Унифицированные полосовые LC-фильтры, выполненные по интегральной технологии

*Денис Борейко, Татьяна Хроленко, Андрей Яковлев*

### ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

44 Методы расширения полосы пропускания осциллографов реального времени

50 Архитектура систем тестирования микросхем компании AVI

*Ян Флетчер*

52 Контрольные испытания датчиков угловой скорости и кажущегося ускорения

*Дмитрий Гаманюк*

### ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

58 Цепи стабилизации для однотактных преобразователей напряжения

*Владимир Грошев*

64 Электрическая схема с коммутирующими IGBT-транзисторами для газоразрядных ламп

*Юрий Мандрыко*

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

70 Компактная модель транзистора: план действий для успешной разработки усилителя

*Тони Гасселинг*

78 Как упростить проектирование усилителей класса E с использованием синтеза

*Мэтт Озалаз*

82 Solid Edge в приборостроении

*Павел Демидов*

86 Новое в OrCAD 16.6-2015

*Анатолий Сергеев*

### СОБЫТИЯ

92 РобоСектор-2015: объединяя опыт и технологии

94 Intel в России празднует 50-летие закона Мура

98 Точные измерения – основа качества и безопасности 2015

102 «Комплексная безопасность-2015»

104 Форум SEMICON Russia: вся российская микрозлектроника крупным планом

### КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

112 Чем заменить P-CAD?

*Влад Хоменко*

## Новости российского рынка

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

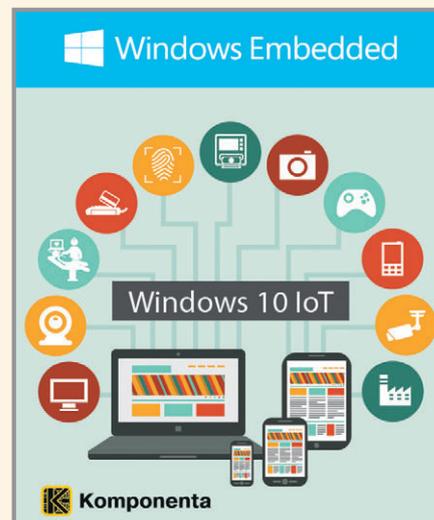
#### Встречайте Windows 10 IoT

Всю свою историю Microsoft вкладывала в Windows понятия простоты использования, универсальности, гибкости и богатых возможностей совместимости с оборудованием, что привело к широкому распространению продукта. Корпорация всегда расширяла возможности своих ОС для встраиваемых систем. Не стала исключением и Windows 10, где сильно расширен функционал по безотказности и безопасности. В новейшей Windows представлены как обновлённые, так и новые инструментариумы. Granular UX Control, обеспечивающий возможность для IT-менеджеров по настройке, блокировке и управлению устройством и интерфейсом, чтобы пользователь мог выполнить только предполагаемую задачу. Расширенные групповые политики, BitLocker, AppLocker, Assigned Access и работа в домене. Фильтры клави-

атур, диалоговых окон, жестов и защиты от записи, дополнительный функционал по безопасности Credential Guard и Device Guard. Всё это и поддержка Universal Windows apps даёт возможность создавать современные и технологичные встраиваемые решения под управлением Windows 10.

Имея популярную систему, Microsoft всегда идёт в тренде рынка и специально для встраиваемых решений подготовила несколько редакций Windows 10 IoT. Редакции ориентированы на вертикали Retail-решений, тонких клиентов, банковской техники, систем мониторинга, планшетных компьютеров, электронных таблиц и прочих решений, которыми так богат рынок встраиваемых систем.

По всем возможным вопросам относительно новейшей ОС Windows 10 IoT и других продуктов Windows Embedded можно



обратиться к официальному дистрибьютору встраиваемых решений Microsoft – ЗАО «Компонента».

[www.komponenta.ru](http://www.komponenta.ru)  
Тел.: (495) 133-0485

### ОБОРУДОВАНИЕ

#### Шкафы сухого хранения: сделано в России

Компания «Диполь» подписала дистрибьюторское соглашение с российским производителем шкафов сухого хранения XDC ESETech.

Шкафы сухого хранения XDC изготовлены по запатентованной технологии SaveDry, обеспечивающей низкие значения относительной влажности до 1% RH ( $\pm 1\%$ ) в рабочем диапазоне 1–50% RH. Шкафы изготавливаются в антистатическом (ESD) исполнении и обеспечивают сохранность компонентов и материалов в соответствии с требованиями международных и российских стандартов.

Оборудование предназначено для хранения влагочувствительных материалов, электрорадиоэлементов, печатных плат, элект-

ронных модулей и других изделий радиоэлектронной техники. Типовое применение оборудования – оснащение лабораторий, межоперационное хранение компонентов, печатных плат и смонтированных модулей, а также складское хранение.

Основные преимущества шкафов сухого хранения XDC – современное производство на территории России, что позволяет обеспечить:

- низкую стоимость;
- высокое качество;
- малые сроки поставки.

Низкий уровень энергопотребления и отсутствие необходимости замены адсорбентов в осушителях делают оборудование экономичным в эксплуатации.

Шкафы могут быть изготовлены в нестандартной конфигурации.



Специалисты компании готовы ответить на любые вопросы: [maria@dipaul.ru](mailto:maria@dipaul.ru); [denisov@dipaul.ru](mailto:denisov@dipaul.ru).

[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru)  
Тел.: (812) 702-12-66

### ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

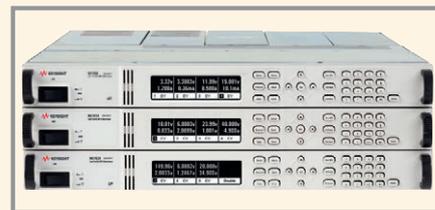
#### Спецпредложения на источники питания Keysight Technologies

Российское отделение компании Keysight Technologies предлагает своим заказчикам воспользоваться возможностью бесплатно изменить стандартную трёхлетнюю гарантию Keysight на расширенный пятилетний гарантийный план для источников серий Keysight N5700, N8700 и N6700.

Источники питания общего назначения постоянного тока серии N5700 и N8700 – компактные источники питания с совре-

менными интерфейсами с мощностью до 5200 Вт (серия N8700) и до 1500 Вт (серия N5700) в компактном корпусе, которые обладают стабильными характеристиками и широким набором базовых расширенных возможностей. Модульная система питания N6700 – программируемая система питания постоянного тока с несколькими выходами, позволяющая подбирать производительность, мощность и цену в соответствии с потребностями тестирования.

Воспользовавшись специальной акцией, заказчики могут продлить гарантию на



источники питания до 5 лет, а также получить следующие преимущества в обслуживании данных приборов:

- приоритетное обслуживание;
- однократное продление гарантии ещё на 6 месяцев при необходимости ремонта;

## Новости российского рынка

- ремонт неисправности в результате электростатического разряда или электрической перегрузки;
- упрощение обслуживания благодаря отсутствию задержек, связанных с размещением заказа и согласованием стоимости ремонта;
- поверка и калибровка после ремонта;
- организация транспортировки в сервисную службу и обратно для ежегодного ТО;
- ежегодное профилактическое ТО с калибровкой всех параметров и установкой заводских обновлений.

Также при покупке производительных источников питания серии N6900 с выходной мощностью 1 и 2 кВт, построенных на основе архитектуры VersaPower и обладающих наилучшими характеристиками в отрасли, предлагается скидка до 20%.

Все акции действуют до 31 декабря 2015 г.

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

Тел.: 8 (800) 500-8286

(звонок по России бесплатный)

### Векторный генератор и измерительный приёмник отечественного производства

ООО «Микроволновые Системы» объявило о серийном запуске векторного генератора сигналов MWT-160U с диапазоном частот 200 Гц – 16 ГГц и измерительного приёмника MWR-135UW с диапазоном частот 200 Гц – 13,5 ГГц.



Основные преимущества генератора MWT-160U:

- генерация сигналов произвольной формы с полосой до 560 МГц;
- выходная мощность до 2 Вт;
- фазовый шум –139 дБн/Гц на отстройке 10 кГц от несущей 1 ГГц;
- интерфейс ввода данных Ethernet SFP+, позволяющий осуществлять передачу в реальном времени данных через радиоканал со скоростью до 10 Гбит/с.

Основные преимущества измерительного приёмника MWR-135UW:

- максимальная полоса анализа (приёма) 260 МГц;
- скорость сканирования 300 ГГц/с;
- фазовый шум –139 дБн/Гц на отстройке 10 кГц от несущей 1 ГГц;
- интерфейс вывода данных со скоростью 10 Гб/с (Ethernet SFP+) для передачи в реальном времени сигналов на устройство хранения или систему обработки;
- 17-дюймовый графический сенсорный дисплей для подробного исследования сигналов;
- опция по измерению фазовых шумов;
- опция по анализу сигналов со всеми априорно неизвестными параметрами.

[www.mw-systems.ru](http://www.mw-systems.ru)

Тел.: (495) 308-9559

### Малогабаритный СВЧ-синтезатор 5–10 ГГц

ООО «Адвантех», российский разработчик и производитель СВЧ-узлов и систем, представляет малогабаритный синтезатор частот LCS-10M-RF в герметичном исполнении. Синтезатор отличается низким уровнем побочных спектральных составляющих за счёт встроенной системы перестройки опорной частоты петли ФАПЧ.



Основные характеристики:

- диапазон частот 4–8 или 5–10 ГГц, планируется к выпуску 10–20 ГГц;
- шаг перестройки 10 Гц;
- уровень фазового шума –100 дБн/Гц при отстройке 20 кГц @ 10 ГГц;
- уровень ПСС (SFDR) при шаге 10 МГц не более –80 дБн;
- время перестройки менее 500 мкс (с любой частоты на любую);
- выходная мощность от 0 до +7 дБм (фиксированная, выбирается при заказе);
- опорный генератор – внешний, 100 МГц, с уровнем от –5 до +5 дБм;
- полнодуплексный интерфейс управления RS-485, 921600 бит/с;
- рабочий диапазон температур от –40 до +50°C;
- габаритные размеры (в × ш × г): 13 × 66 × 91 мм, вес 130 г.

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

Тел.: (495) 721-4774

### Плата LB120/80

LB120/80 – это свободно-конфигурируемый модуль дискретных сигналов на базе ПЛИС, используемый как программируемый интерфейс, ввод-вывод разовых команд, формирователь последовательностей импульсов, а также подходящий для многих других применений.



В отличие от решений с заранее записанными диаграммами обмена, плата с программируемым функционалом имеет ряд преимуществ: интерактивность при взаимодействии с внешней аппаратурой на разных уровнях абстракции (от управления конкретными дискретными сигналами до управления сложными процессами на высоком уровне абстракции), возможность самостоятельной работы по заложенной программе без участия ЭВМ.

Плата LB-120/80 обеспечивает широкий диапазон входных/выходных напряжений при возможности индивидуальной настройки направления линий ввода/вывода, имеются дифференциальные каналы, есть возможность сопряжения с импульсными трансформаторами, а также большое количество каналов (120) и конструктив, позволяющий использовать плату как самостоятельное устройство. Связь с ЭВМ осуществляется через интерфейс USB.

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

Тел.: (343) 344-5082

### Компактные 225-ваттные источники питания AC/DC от XP Power

Компания XP Power объявила о начале выпуска высокоэффективных источников питания AC/DC серии EPL225, предназначенных для применения в промышленном, IT и медицинском оборудовании. Серия включает семь одноканальных моделей, которые обеспечивают стандартные выходные напряжения от +12 до +48 В. В каждой модели предусмотрен дополнительный выходной канал 12 В / 0,5 А для питания вентилятора. Выполненные в чрезвычайно компактном низкопрофильном корпусе 2 × 4 дюйма с высотой 1U (50,8 × 101,6 × 32,3 мм), источник питания серии EPL225 обеспечивают мощность в нагрузке 150 Вт в условиях свободного конвекционного отвода

## Новости российского рынка

тепла, что является лучшим показателем в промышленности для источников питания с такой площадью основания. Применение принудительного охлаждения с воздушным потоком 10 CFM (фут<sup>3</sup>/мин) позволяет обеспечить максимальную мощность 225 Вт.



Источники питания серии EPL225 характеризуются минимальным средним значением КПД, равным 93%, и максимальным значением КПД, равным 95%, что обеспечивает меньшую рассеиваемую в тепло мощность и позволяет использовать вентилятор с меньшими габаритами. Это способствует более надёжной и длительной работе источника питания. Кроме того, источники питания характеризуются низкой потребляемой мощностью (менее 0,5 В) в режиме холостого хода – гарантия того, что конечное изделие будет соответствовать самым последним стандартам, устанавливающим требования к эффективности использования энергии.

Соответствие требованиям безопасности общепринятого стандарта EN 60950-1 к оборудованию информационной технологии и самым последним жёстким стандартам ANSI/AAME/60601-1 и IEC/EN60601-1 (3-е издание), распространяющимся на безопасность медицинских электрических приборов и аппаратуры, позволяет применять модули серии EPL225 в самом разнообразном оборудовании информационных технологий, промышленном и медицинском. Модули также соответствуют требованиям стандартов EN55011 и EN55022 Class B к уровню кондуктивных помех, а по ограничениям Class A – к помехам излучения.

Модули питания серии EPL225 пригодны для применения в самых разных рабочих условиях. Например, в температурном диапазоне от –20 до +70°C, без понижения выходной мощности до +50°C.

Ряд EPL225 предлагает решение с высокой удельной мощностью и является идеальным для применений в ограниченных пространствах, где обеспечивается конвекционный отвод тепла или имеется воздушный поток.

Модули имеют трёхлетнюю гарантию производителя.

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

### Ультеракомпактные источники питания AC/DC для монтажа на DIN-рейку

Компания XP Power выпустила серию DSA, включающую три ультракомпактных источника питания AC/DC для монтажа на DIN-рейку и дополнительный модуль DSA-DP20 для обеспечения резервирования с блокирующими диодами (по схеме ИЛИ). Высокоэффективная серия DSA включает 150-ваттные модели DSA150, 240-ваттные DSA240 и 480-ваттные DSA480. Одноканальные модели с выходными напряжениями 24 или 48 В предназначены для промышленных применений, таких как управление производственным процессом и автоматизация зданий, где должно быть минимизировано пространство под источники питания, установленные на DIN-рейке. Функция регулировки выходного напряжения обеспечивает подстройку в диапазоне ±5% от номинального значения.



Эти модули питания с конвекционным охлаждением тоньше, чем стандартные источники питания для установки на DIN-рейку с габаритными размерами 99,8 × 125,2 × 55,5 мм для ряда DSA150, 117,8 × 125,2 × 65,8 мм для ряда DSA240 и 123,35 × 124,8 × 86,3 мм для ряда DSA480. Модули требуют минимум пространства на DIN-рейке и обеспечивают больше мощности на доступной площади. Высокое значение КПД модулей способствует меньшему рассеиванию входной мощности в тепло, обеспечивая более простое управление отводом тепловой мощности. Типовые значения КПД для модулей составляют: 87% для DSA150, 92% для DSA240 и 94% для DSA480.

Источники питания предназначены для работы в диапазоне температур от –25 до +70°C. Полная выходная мощность без понижения обеспечивается в диапазоне температур от –25 до +50°C.

В отличие от некоторых представленных на рынке модулей, модули серии DSA не имеют переключателей для выбора диапазонов входного напряжения и способны работать во всём диапазоне входных напряжений от 90 до 264 В. Модули питания серий DSA также характеризуются многочисленными опциями для дистанционного регули-

рования выходного напряжения, предоставляя пользователю возможность выбирать, каким образом источник питания будет реагировать на перегрузки по току. Характерным свойством модулей является способность работать в условиях перегрузки, что позволяет обеспечить 150% выходной мощности в течение трёх секунд. Это свойство является идеальным для применений с высоким значением пускового тока (например, запуск электромоторов) без необходимости использования дорогостоящих источников питания с более высокой номинальной мощностью только лишь для того, чтобы соответствовать подобным, случающимся время от времени, условиям нагрузки.

Модуль DSA-DPA20 с блокирующими диодами, обеспечивающими схему ИЛИ при параллельном соединении, может применяться с источниками питания серии DSA для обеспечения резервирования в применениях с напряжением питания 24 В и токами нагрузки до 20 А. Модуль, имеющий габаритные размеры корпуса 99,8 × 125,2 × 55,5 мм для установки на DIN-рейку, может быть подключён к двум источникам питания для обеспечения 1+1 резервирования или с несколькими источниками питания и DSA-DPA20-модулями для N+1 резервирования, используемых в высоконадёжных системах. Модуль DSA-DPA20 имеет встроенное сигнальное реле с «сухими» контактами и оптический выход на светодиоде, а также индикатор аварийной ситуации. Источники питания серии DSA соответствуют требованиям международных стандартов безопасности UL508, EN60950, IEC60950 и соответствуют требованиям стандарта EN55022 Class B к уровню кондуктивных помех и помех излучения.

Модули имеют трёхлетнюю гарантию производителя.

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

### 15" ЖК MVA-дисплей с высокой яркостью свечения и широкими углами обзора

Компания LITEMAX Electronics, Inc представила новые 15-дюймовые ЖК-дисплеи ряда 1506, выполненные на матрицах MVA (Multi-Domain Vertical Alignment – Вертикальная ориентация с многодоменной структурой), что позволило увеличить углы обзора в вертикальной и горизонтальной плоскостях до 170°. У выпускаемых ранее 15-дюймовых моделей ряда 1555 эти значения составляют 140° и 160° соответственно. Как и во всех ЖК-дисплеях серии DURAPIXEL, в новых моделях ряда 1506 в качестве источника излучения используются массивы светодио-

## Новости российского рынка

дов белого свечения, что позволяет снизить потребляемую мощность и рассеиваемую тепловую мощность. В результате ресурс дисплейного модуля значительно увеличивается. Яркость моделей DLF1055-SNN-A01/DLH1506-SSN-I01, равная 1000 кд/м<sup>2</sup>, позволяет считывать изображения при прямом солнечном освещении, а драйвер системы подсветки LID15B обеспечивает регулировку яркости в широком диапазоне.

В конструкциях дисплеев применяются светофильтры с высоким коэффициентом пропускания, а также передние и задние поляризаторы с высоким пропусканием, что обеспечивает низкую потребляемую мощность. Дисплеи ряда 1506 предназначены для применений в информационных киосках, для демонстрации рекламных роликов, могут использоваться в пунктах продажи, на транспортных средствах и в студийной аппаратуре.

Модель DLH1506-SNN-I01 комплектуется платой управления AD6038GD, кото-

рая обеспечивает работу от видеовходов VGA и DVI. Плата также позволяет управлять параметрами дисплея через экранное меню с помощью четырёхкнопочной клавиатуры (яркость, контрастность, цвет, фаза, синхронизация и так далее).

Предлагается также модель DLO1506-SNB-I01 с открытым каркасом, а также её корпусированный вариант (DLD1506-SNA-I01).

Технические характеристики дисплеев серий DLF1506/DLH1506:

- высокая яркость свечения экрана 1000 кд/м<sup>2</sup>;
- контрастность 1700:1;
- рабочее поле экрана 304,1 × 228,1 мм;
- разрешение 1024 × 768 пикселей (формат изображения XGA);
- шаг пикселя 0,297 × 0,297 мм;
- угол обзора 170° (как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях);
- число отображаемых цветов 16,7 млн;
- время отклика 35 мс;



- потребляемая мощность 17 Вт (для комплекта DLF1506-SNN-A01 без платы управления – 13 Вт);
- диапазон рабочих температур от –20 до +70°C;
- диапазон температур хранения от –25 до +70°C;
- высокая стойкость к воздействию вибраций и ударов;
- габаритные размеры (ш × в × г) 326,5 × 263,5 × 9,5 мм;
- вес 1 кг (исполнение DLF1506).

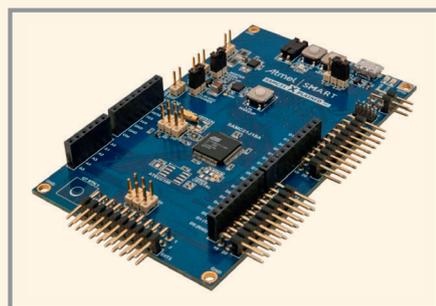
[www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

Тел.: (495) 234-0636

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

### Новые микроконтроллеры Atmel на базе архитектуры ARM Cortex-M0+

В семействе микроконтроллеров Atmel® с ядром ARM Cortex-M0+ появились новые модели: SAM C20/21 с напряжением питания 5 В и SAM L21 с пониженным энергопотреблением.



Микроконтроллеры SAM C20/21 оптимизированы для использования в системах промышленной автоматики, бытовой технике и других приложениях с напряжением питания 5 В. Контроллеры имеют расширенный до +105°C диапазон рабочих температур, а также поддерживают промышленные интерфейсы передачи данных CAN, PMBus и SMBus. При максимальной тактовой частоте 48 МГц контроллеры демонстрируют производительность на уровне 2,46 Coremark/МГц.

Микроконтроллеры SAM L21 обеспечивают чрезвычайно низкое энергопотребление – вплоть до 35 мкА/МГц в активном режиме, менее 900 нА с полным сохранени-

ем данных в ОЗУ и активных часах реального времени и 200 нА в режиме глубокого сна. Энергоэффективное ядро ARM Cortex-M0+, быстрое время пробуждения, технология Sleepwalking и инновационная периферия picoPower, поддерживающая работу, когда остальная система находится в режиме сна, делают микроконтроллеры SAM L21 идеальным выбором для применения в устройствах с батарейным питанием из таких областей, как Интернет вещей (IoT), потребительская, промышленная и портативная медицинская электроника.

Все устройства выполнены на базе 32-битного ядра ARM Cortex-M0+ и содержат флэш-память до 256 КБ, ОЗУ до 32 КБ, до 6 модулей SERCOM (конфигурируемых как USART/UART, SPI, I<sup>2</sup>C). Микроконтроллеры поставляются в корпусах с количеством выводов от 32 до 64, а также полностью совместимы по программному коду и назначению выводов, позволяя разработчикам портировать свои приложения внутри всего семейства SMART на базе Cortex-M0+.

Новые серии контроллеров поддерживаются бесплатной средой разработки Atmel Studio 6.2. Также для отладки приложений доступны к заказу образцы микросхем и отладочные комплекты.

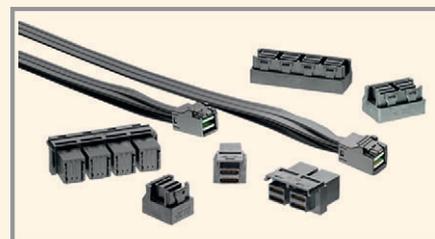
*Получить консультацию, приобрести микросхемы и отладочные комплекты можно в компании Rainbow.*

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

Тел.: (495) 665-0201

### Новый внутренний mini-SAS разъём от TE Connectivity

В июле 2015 г. TE Connectivity (TE) представила новый внутренний mini-SAS разъём высокой плотности (HD). Разъём способен передавать данные со скоростью 192 Гбит (12 Гбит × 16 пар). Новый разъём на 30% меньше, чем обычный разъём SAS, что позволяет высвободить на плате дополнительное место. Соединение соответствует спецификациям SAS 2.1 и SAS 3.0 и поддерживает широкий диапазон скоростей до 12 Гбит.



Разъём и кабель mini-SAS HD совместимы с различными архитектурами, включая системы хранения данных, суперкомпьютеры и сети. «Рынок соединений высокой плотности и высоких скоростей постоянно растёт, и компания TE внедряет самые инновационные и эффективные решения в различных применениях, – говорит менеджер по продукции TE господин Боуэн. – Наш внутренний mini-SAS HD разъём является одним из примеров инженерных инноваций TE, где достигнуты лучшие параметры по производительности и гибкости для мини-атюрного интерфейса».

## Новости российского рынка

Особенности и преимущества:

- шаг 0,75 мм;
- технология монтажа – запрессовка (press-fit), ключ для правильной ориентации разъёма;
- версия с креплением винтами;
- композитный плоский коаксиальный кабель 30AWG;
- сопротивление кабеля 100 и 85 Ом; прямое и угловое исполнение.

Решения TE Connectivity в соединениях и измерениях приобретают всё большее значение в современном мире.

По вопросам приобретения обращайтесь к официальному дистрибьютору TE Connectivity на территории России, Группе компаний «Компонента».

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

Тел.: (495) 133-0485, (495) 645-7404

### Новые радиационно-стойкие микросхемы 1895BA1AT и 1895BA2T от ЗАО НТЦ «Модуль»

Специалистами ЗАО НТЦ «Модуль» разработаны радиационно-стойкие микросхемы протоколного контроллера мультиплексного канала передачи данных по ГОСТ Р 52070-2003 – 1895BA1AT и 1895BA2T.



Микросхемы, управляемые микропроцессором, обеспечивают организацию обмена информацией и контроля передачи информации по резервированному мультиплексному каналу передачи данных (МКПД) в режимах контроллера шины, оконечного устройства и монитора шины.

Новые микросхемы являются функциональными и конструктивными аналогами БИС 1895BA1T. Особенностью новых разработок является рабочее напряжение питания (+3,3 В), а также соответствующие электрические параметры. БИС 1895BA2T имеет расширенный рабочий температурный диапазон от –60 до +125°C и допустимое входное напряжение до +5,5 В.

БИС 1895BA1AT и БИС 1895BA2T обеспечивают выполнение всех требований к организации обмена и контроля передачи информации, изложенных в ГОСТ Р 52070-2003. В состав микросхем входят: кодер и сдвоенный декодер информации, полная многопротокольная логика, встроенное ОЗУ объёмом

ёмом 4К 16-разрядных слов, логика управления памятью и логика взаимодействия с центральным процессором (ЦП).

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

Тел.: (499) 152-9698

### Малогабаритный 2,7" графический дисплей OLED REX012864K

Компания Raystar Optronics, Inc объявила о начале выпуска новой модели 2,7" графического OLED-дисплея REX012864K с разрешением 128 × 64 точек, выполненных с применением технологии COG (Chip On Glass).



Высокий контраст 2000:1 позволяет получить яркое и отчётливое изображение.

В новых дисплеях применяется микросхема драйвера SSD1309. Микросхема контроллера обеспечивает управление контрастом, содержит дисплейное ОЗУ и генератор, что позволяет сократить число внешних компонентов и потребляемую мощность. Контроллер имеет 256-ступенчатое управление яркостью и отдельное питание для логических схем управления вводом/выводом.

Графические функции позволяют улучшить визуальный интерфейс прикладного устройства. Размер шрифта не зависит от физического размера знакоместа благодаря использованию функции масштабирования шрифта, а вывод сообщений осуществляется обычными командами вывода текста.

Основные технические характеристики:

- цвет свечения экрана жёлтый;
- яркость свечения экрана 60...80 кд/м<sup>2</sup>;
- контрастность 2000:1;
- диапазон рабочих температур от –40 до +80°C;
- коэффициент мультиплексирования строк 1/64;
- габариты дисплея (ш × в × г) 73 × 41,86 × 2,15 мм;
- видимая область экрана 61,41 × 30,69 мм;
- шаг пиксела 0,48 × 0,48 мм;
- размер пиксела 0,45 × 0,45 мм;
- интерфейсы:
  - параллельный 6800 или 8080 (опция);
  - последовательный SPI;
- I<sup>2</sup>C.

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

Тел.: (495) 234-0636

### Самый большой пассивно-матричный OLED-дисплей

Компания Raystar Optronics, Inc выпустила стандартный графический пассивно-матричный OLED-дисплей RET025664D с размером диагонали 5,5" и зелёным цветом свечения экрана, выполненного с применением технологии монтажа драйвера на трёхслойной полиимидной подложке-ленте (Tape Automatic Bonding, TAB).

Встроенная микросхема драйвера SSD1322 (Solomon Systech) обеспечивает 256-ступенчатое управление контрастом. Видеоданные хранятся в ОЗУ объёмом 480 × 128 × 4 бит, а формирование синхронимпульсов обеспечивает генератор. Контроллер обеспечивает управление дисплеем через параллельный 6800/8080-совместимый интерфейс или Serial Peripheral Interface (SPI). OLED-дисплеи предназначены для устройств с мультимедийными функциями, а также оперативного отображения информации о событиях или процессах. Модель RET025664D является одним из самых больших пассивно-матричных OLED-дисплеев, предлагаемых компанией Raystar Optronics, и может весьма успешно применяться, например, в торговых терминалах.

Направление дисплейной технологии, основанное на органических светодиодах, позволяет создать прибор отображения, который работает в расширенном диапазоне температур, имеет хорошее контрастное изображение, оптимальное потребление энергии и компактную конструкцию.

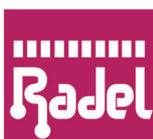


Основные параметры модели RET025664D:

- число знаков 256 × 64 точек;
- габаритные размеры модуля 146 × 45 × 2,05 мм;
- рабочее поле 135,65 × 33,89 мм;
- размер пиксела 0,5 × 0,5 мм;
- шаг пиксела 0,53 × 0,53 мм;
- яркость 60...80 кд/м<sup>2</sup>;
- контрастность 2000:1;
- пассивно-матричная адресация;
- цвет свечения экрана зелёный;
- коэффициент мультиплексирования строк 1/64;
- диапазон рабочих температур от –40 до +80°C;
- срок службы 40 000 ч (минимальное значение).

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

Тел.: (495) 234-0636

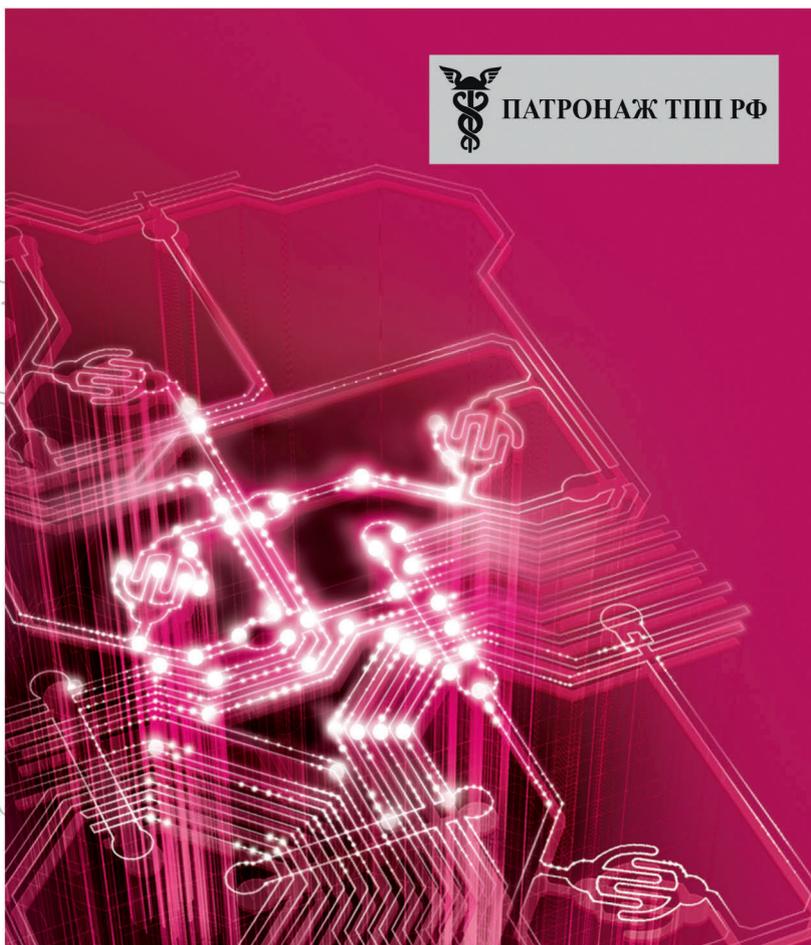


# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ПАТРОНАЖ ТПП РФ



Реклама

- Электронные компоненты
- Комплектующие
- Печатные платы
- Светотехника
- Материалы
- Конструктивы
- Технологии
- Промышленное оборудование и инструменты
- Контрольно-измерительные приборы и лабораторное оборудование

Организатор выставки:



[www.farexpo.ru/radel](http://www.farexpo.ru/radel)  
тел.: +7 (812) 777-04-07  
[radel2@farexpo.ru](mailto:radel2@farexpo.ru)

Место проведения: Санкт-Петербург, СКК, пр. Ю. Гагарина, 8, м. «Парк Победы»

**21-23 октября 2015**  
Санкт-Петербург, СКК

Новости мира News of the World Новости мира

**DC/DC-преобразователи  
Crane Interpoint™:  
4,83 млн км до Плутона**

Космический зонд NASA New Horizons был запущен с мыса Канаверал (Флорида, США) 19 января 2006 г. наверху ракеты Atlas 5, изготовленной компанией Lockheed Martin. После почти десятилетнего путешествия через солнечную систему New Horizons осуществил своё самое ближайшее приближение к Плутону 13 июля 2015 г.

Согласно информации от NASA космический аппарат пролетел на расстоянии около 12 472 км над поверхностью – приблизительно равному расстоянию от Нью-Йорка (США) до Мумбайя (Индия).

Компания Crane поставила DC/DC-преобразователи и помехоподавляющие фильтры для измерительного устройства Solar Wind Around Pluto (SWAP, Солнечный ветер вокруг Плутона). DC/DC-преобразователи обеспечивают вторичное питание для SWAP, тогда как помехоподавляющие фильтры подавляют низкочастотные помехи от двух генераторов преобразователей.



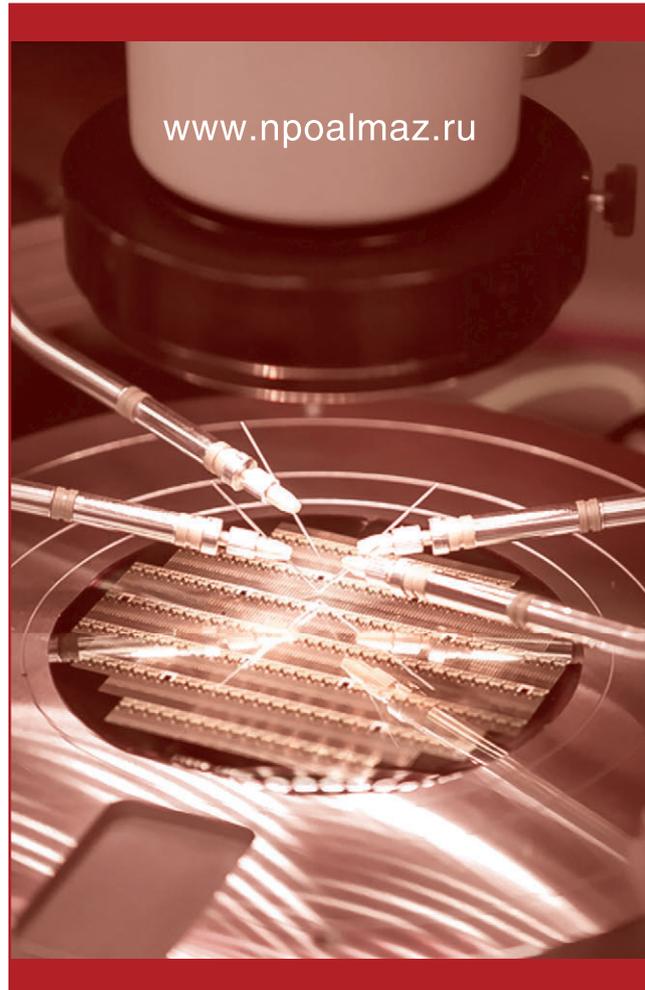
Измерительный прибор SWAP, установленный на New Horizons, предназначен для измерения взаимодействия атмосферы Плутона с солнечным ветром. Учёные предполагают, что Плутон теряет значительное количество своей богатой азотом атмосферы вследствие процессов утечки управляемых (вызываемых) солнечным ветром. Изучение этой потери вещества предоставит ценную информацию о составе атмосферы Плутона.

New Horizons является самым скоростным космическим аппаратом из всех когда-либо

созданных. Его скорость равна 49 890 км/ч. Столь жёсткие условия эксплуатации являются одной из причин, из-за которых для измерительного прибора SWAP были выбраны долговечные, надёжные источники питания Crane, специфицированные для применения в аппаратуре космических аппаратов.

Компания Crane гордится тем, что её изделия стали частью этого ключевого события в деле исследования космоса.

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



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



ООО «Научно-производственное объединение «Алмаз»  
620102, г. Екатеринбург, ул. Волгоградская, д. 193, оф. 203  
Телефон: (343) 344-50-82, факс (343) 344-50-80  
E-mail: info@npoalmaz.ru



Разрабатываем измерительные оснастки любой сложности для любого измерительного оборудования

Дорабатываем и поставляем контактные устройства



Реклама

# Международная специализированная выставка



## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

**15-17 сентября 2015 года**

**МВЦ «Крокус Экспо»**

- станкостроение
- машиностроение
- металлургия
- химико-технологический комплекс
- топливно-энергетический комплекс
- информационные технологии
- радиоэлектроника
- лесопромышленный комплекс и деревообработка
- строительная индустрия
- сельское хозяйство
- производство, переработка и хранение продуктов питания
- наука
- медицина
- фармацевтика
- лёгкая промышленность
- регионы России

Дирекция выставки:

Тел: +7 (495) 727-25-82

E-mail: fonkac@crocus-off.ru

www.imzam-expo.ru

12+  
реклама

Организатор:

**КРОКУС ЭКСПО**  
Международный выставочный центр

Информационный партнер  
МВЦ «Крокус Экспо»:



Генеральный информационный  
партнер:

**Коммерсантъ FM93.6**  
радио новостей

Информационная поддержка:

Генеральный информационный  
партнер конференции:

**НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЙ  
ИНЖИНИРИНГ**

Генеральный отраслевой  
информационный партнер:

**НЕФТЕ  
ГАЗОВАЯ  
ВЕРТИКАЛЬ**  
20.10.15

# Фотонная и релятивистская энергетика на основе LPE i-GaAs-монокристаллов

Виктор Войтович (г. Тарту, Эстония),  
Александр Гордеев, Анатолий Звонарёв (г. Ульяновск)

В статье описаны новые физические явления идеальной проводимости в ионно-связанных кристаллах GaAs на основе механизмов безрассеянного полевого нано- и субнанодрейфа, а также сделана попытка теоретического обоснования «комнатной» сверхпроводимости на основе туннельно-полевого расщепления валентно-связанной электронной оболочки дипольно-молекулярных соединений  $A_{III}B_V$  с генерацией субмега-релятивистской энергии. В статье демонстрируются неограниченные возможности для повышения интеллектуального потенциала отечественной электроники, что может привести к резкому скачку и к опережению мирового уровня в данной отрасли.

Хроническое увлечение воспроизводством зарубежных технологий в электронике и радиофизике с точки зрения национальной безопасности, в конечном счёте, может привести к национальной катастрофе [1]. В ближайшие 2–3 года ведущие мировые технологические площадки в США (как минимум, две), в Бельгии и Корее преодолеют своего рода «сверхзвуковой барьер» в энергетике на твёрдых кристаллах, связанный с освоением топологической наноразмерности в 4–5 нм. Основанием для такого утверждения служит то, что недавно компания IBM объявила о создании первых рабочих образцов процессоров с транзисторами размером 7 нм [2]. Тогда что можно говорить о чипах отечественного производства с размерностью в 95 нанометров?

К 2025 г. западные компании вплотную приблизятся к молекулярной субнано-твёрдотельной электронике и, в недалёком будущем, к атомной электронике. Это приведёт к созданию сверхтехнологий, позволяющих осуществлять модуляцию и управление энергиями в кристалле последовательно от единиц кэВ до сотен кэВ и выше (МэВ), что является предварительным шагом к сопоставимым величинам энергий (неуправляемых!) ядерного расщепления и термоядерного синтеза (зонная теория оперирует на практике энергиями от 0,17 эВ (InSb) до 5,5 эВ (Diamond), а плотность энергии формируется флюенсом проводящих электронов/дырок или фотонов).

Следует ожидать, что к 2020 г. будут освоены «транзисторно-диодные» операции усиления, генерации, модуляции

(ЧМ, АМ, ФМ), Булевой логики в диапазоне частот  $10^{12}$ – $10^{18}$  Гц. Следовательно, интеллектуальная планка любой нации определяется скоростью обработки информации, а также частотной энергоплотностью оперируемой электромагнитной массы.

При хроническом технологическом отставании от ведущих держав в области электроники, что мы можем противопоставить процессу брожения опасной идеи «безответного удара»? Тем более в условиях сверхвысокой технологической оснащённости для операций генерации и управления энергиями, близкими или сопоставимыми с ядерными?

Отсюда вывод: чтобы не пропустить момент, когда гром действительно грянет, необходимо практически в аварийном порядке изыскивать внутренние интеллектуальные ресурсы, которые в России – неисчерпаемы. Нужно твёрдо усвоить слова немецкого физика Роберта Кирхгофа: «Нет ничего практичнее хорошей теории».

В очередной публикации авторы вновь заостряют внимание на достоинствах своего проекта «Новая мировая электронная индустрия на основе LPE i-GaAs-монокристаллов опережающего уровня», тезисы которой были ими разосланы в ведущие концерны, РАН, ведущие вузы и другие организации.

Далее вкратце интерпретированы дополнительные возможности новых кристаллов в области релятивистской и фотонной сверхпроводимости.

## Проводимость твёрдых тел

Исходя из свойств электрической проводимости в физике, принято

Статья опубликована в авторской редакции.

Мнение редакции не всегда совпадает с авторской линией.

Но редакция всегда открыта к диалогу и предоставляет специалистам возможность донести свою идею до читательской аудитории журнала. Специализированный журнал – это информационная площадка, на которой порой встречаются самые невероятные инженерные решения и проявления творческой мысли.

делить твёрдые тела на проводники ( $\rho < 10^{-5}$  Ом × см), полупроводники ( $\rho = 10^0 \dots 10^{-4}$  Ом × см) и диэлектрики ( $\rho > 10^9$  Ом × см). О корректности такой трактовки проводимости в твёрдых телах можно судить хотя бы по тому, что:

- чистые, беспримесные, совершенные по своей структуре кристаллы алмаза и арсенида галлия являются диэлектриками с удельным сопротивлением гораздо выше, чем  $10^9$  Ом × см (количество свободных электронов – один на 10 000 триллионов атомов или меньше);
- легированные монокристаллы алмаза и арсенида галлия (GaAs) – это полупроводники со всеми вытекающими свойствами;
- финскими учёными продемонстрированы на практике GaAs-структуры с проводимостью на порядок и более высокой, чем в металлах (Ag, Au, Cu, Al и др.) [3];
- в статье «Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs-монокристаллов» [4] показано 5 последовательно-переходных типов проводимости в монокристаллах LPE i-GaAs – от диэлектрика до полупроводника/проводника и, в перспективе, сверхпроводника.

Естественно, возникает вопрос: в чем же, с физической точки зрения, заключается качественная разница проводимости, как характеристики передачи электромагнитной энергии в твёрдых телах?

Ответ заключается в скорости и способах переноса электромагнитной энергии. В области электроники, как правило, перенос или преобразование электромагнитной энергии связывают с зонной теорией проводимости (полупроводники) и релятивистским переносом энергии посредством заряженных частиц (вакуумные ускорители).

ли, циклотроны, изотопы и так далее, вплоть до термоядерного генератора – Солнца). Уместно и такое существенное замечание: в металлах подвижность электронов, которая характеризует дрейфовую скорость переноса электромагнитной энергии (при нормальных условиях), имеет сверхмалые величины, например, Ag –  $56 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ , Cu –  $35 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ , Al –  $10 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{с}$ , при практической напряжённости поля, не превышающей  $0,001 \text{ В/см}$ , то есть скорость потока электронов не выше, чем полмиллиметра в секунду ( $0,5 \times 10^{-1} \text{ см/с}$ ), к примеру, в GaAs  $v = 2 \times 10^7 \text{ см/с}$ . Как же тогда понимать в отношении металлов выражение, что электрический ток – это направленное движение заряженных частиц? Направленного движения электрически заряженных частиц, тех же электронов, концентрация которых, допустим, в меди  $\approx 8 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$ , практически нет. Есть дрейфово-тепловой, слегка упорядоченный хаос движения таких частиц. А вот такая характеристика проводимости, как скорость передачи/переноса электрической энергии, очень высока и достигает субзначений скорости света в вакууме  $C \approx 3 \times 10^{10} \text{ см/с}$ . В металлах проводимость (передача/перенос) электромагнитной энергии обусловлена волновыми свойствами поляризованного взаимодействия атомов кристаллической решётки. В данном случае мы имеем дело с фотонной проводимостью.

Фотонная проводимость наиболее ярко проявляется в диэлектрической среде (вакуум, ионосфера, стратосфера, тропосфера, диэлектрические материалы с очень малыми значениями  $\epsilon$  – диэлектрической проницаемости), менее удачно – в металлах, и совсем неплохо – в твёрдых телах, совмещающих в себе свойства изолятора, полупроводника, проводника, сверхпроводника (на примере того же алмаза или арсенида галлия).

Классическая зонная теория проводимости – это не что иное, как физическое явление ионизации атома или группы атомов полупроводника, связанное с процессом либо присоединения, либо отторжения заряженной частицы атома.

Рассматривая электрон как продукт ионизации, необходимо констатировать, что энергия ионизации атомов идеальной решётки известных полупроводников (Si, Ge, GaAs и других) колеблется в пределах 6–8 эВ, а точ-

нее, у кремния (Si) – 8,1517 эВ, у германия (Ge) – 7,8995 эВ, мышьяка (As) – 9,789 эВ, галлия (Ga) – 5,999 эВ [6]. То есть энергия ионизации GaAs, вероятно, находится в пределах от 6,0 эВ.

Тем не менее, на практике мы оперируем оптической шириной запрещённой зоны в кремнии – 1,12 эВ или в GaAs – 1,43 эВ. Фактическое преобразование энергии ионизации GaAs в оптическую ширину запрещённой зоны с потерей  $\approx 5 \text{ эВ}$  так просто объяснить невозможно. К примеру, температурным фактором (тепловыми квантами –  $kT$ ) здесь никакая экспонента

$$\left( n_i = AT^{3/2} \exp\left(-\frac{E_q}{2kT}\right) \right) \quad (1)$$

не поможет. Как в собственном полупроводнике кристалла GaAs «набрать» таким способом концентрацию свободных носителей  $n_i = n = p \rightarrow < 10^6 \text{ см}^{-3}$ ?

Очевидно, что снижению «термической» запрещённой зоны от 6–8 эВ до уровня «оптической» 1,12 эВ (Si) или 1,43 эВ (GaAs) способствуют структурные несовершенства кристалла и атмосфера (атомная среда), в которой выращиваются полупроводниковые кристаллы. Для изменения энергосостояния решётки кардинальным образом достаточно структурных несовершенств атомной решётки на уровне  $10^{-9}$ – $10^{-10}\%$  атомной плотности кристалла.

Наряду со структурными методами влияния на энергию ионизации в кристаллической решётке полупроводника, практическим способом создания количества ионизированных состояний в решётке полупроводника является примесное легирование, которое, как известно, на практике используется в пределах  $10^{13}$ – $10^{20}$  атомов/см<sup>3</sup> (в кремнии, германии, арсениде галлия) или  $10^{-4}$ – $10^{-11}\%$  плотности атомной упаковки. Полупроводниковые кристаллы, как правило, ионизированы уже при комнатной температуре из-за наличия в узлах кристаллической решётки донорной или акцепторной примесей. К примеру, энергия ионизации донорной примеси в Si, Ge, GaAs определяется по формуле:

$$E_g = \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_s}\right)^2 \left(\frac{m_{\text{eff}}}{m_0}\right) \cdot E_{\text{H}} \quad (2)$$

где  $E_{\text{H}}$  – энергия ионизации атома водорода, равная 13,6 эВ,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $m_0$  и  $m_{\text{eff}}$  – масса покоя электрона и эффективная масса электрона (в зоне проводимости).

Энергия ионизации донорной примеси [6] в GaAs составляет 5–6 мэВ, акцепторной – 26–35 мэВ.

Формула (2) справедлива в общем случае, но есть полупроводниковые кристаллы  $A_{III}B_V$ , которые в случае легирования амфотерной примесью элементами IV группы таблицы Менделеева, например, при LPE-выращивании, могут противоречить формуле (1), и энергия ионизации может отличаться более чем на полтора порядка. Вследствие этого у LPE i-GaAs-кристалла, легированного кремнием в кварцевой среде («кварцевый» LPE i-GaAs), проявляются новые уникальные свойства по электропрочности, подвижности носителей заряда и типу проводимости (от  $\rho > 10^9 \text{ Ом} \times \text{см}$  до идеальной, близкой к металлической, проводимости  $\rho << 10^{-6} \text{ Ом} \times \text{см}$ ).

Данный материал открывает новую страницу в современной электронике, на нём можно выполнить более широкий спектр приборов, чем на всех остальных полупроводниковых материалах вместе взятых.

Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с электронной и релятивистской проводимостями в кристаллах LPE i-GaAs (Si/SiO<sub>2</sub>), но вначале рассмотрим энергетику LPE i-GaAs-монокристалла.

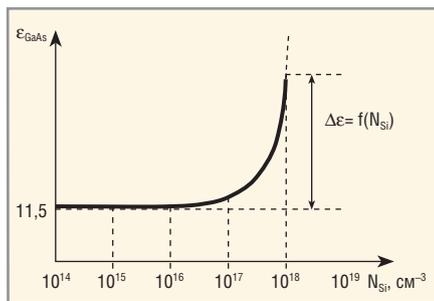
### ЭНЕРГЕТИКА GaAs МОНОКРИСТАЛЛА

Процессы и методы ионизации кристаллической структуры монокристаллов GaAs, то есть процессы, связанные с модуляцией проводимости GaAs, следующие:

- 1) технологические (ростовые, эпитаксиальные процессы, термообработка, легирование донорной или акцепторной примесью);
- 2) полевые, то есть электромагнитные методы;
- 3) релятивистские (фотонные, электронные, протонные, нейтронные, гамма-лучевые и другие).

Идеальный, бесприменный, бездефектный GaAs монокристалл в равновесном состоянии представляет собой чистый диэлектрик, в котором концентрация собственных носителей заряда находится на ничтожном вероятностном уровне меньше, чем  $10^{-18}\%$  от плотности атомной упаковки.

Энергетика реального «кварцевого» LPE i-GaAs-монокристалла, легированного амфотерными атомами кремния, резко отличается от классической интерпретации энергетики

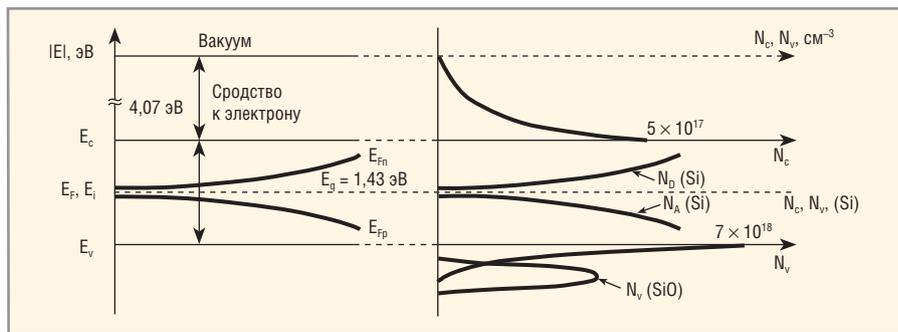


**Рис. 1.** Прогнозируемая зависимость  $\epsilon_{\text{GaAs}}$  от концентрации ионизированных амфотерных атомов Si

GaAs-монокристаллов [7], легированных акцепторной и донорной примесью, хотя бы из-за того, что атомы кремния в арсениде галлия во втором случае имеют энергию ионизации 0,035 и 0,005 эВ соответственно (мелкие уровни у краёв энергозон), а в LPE i-GaAs-амфотерный кремний образует глубокие, одновременно акцепторные и донорные уровни вблизи собственного электрохимического потенциала ( $E_F$ ). Механизм образования таких уровней находится в стадии исследования, но он связан с замещением атомами Si атомов Ga с дальнейшим атомным туннелированием в подрешётку мышьяка (As). На практике Войтовичем В.Е. и [Ашкинази Г.А.] [8, 9] получены практически «нулевые» разницы донорной и акцепторных примесей на уровне  $\approx 10^{11} \text{ см}^{-3}$  при растворимости атомов Si в решётке GaAs в пределах осязаемости измерений от  $10^{13}$  до  $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$  атомов кремния в GaAs. Но необходимо также подчеркнуть, что легирование решётки GaAs атомами Si из фазы SiO происходит в результате образования как минимум четырёх глубоких центров:

- двух энергетически почти симметричных глубоких донорных и акцепторных центров;
- глубоких центров, образованных атомами кислорода (ниже середины запрещённой зоны);
- очень глубоких, с большой вероятностью, в валентной зоне акцепторных центров SiO в GaAs.

Исследования температурной зависимости параметров накопления и релаксации инжекционного заряда в p-i-n-структурах указывают на возрастание температурного фактора активации глубоких центров, начиная с температуры кристалла  $\approx 220\text{--}250^\circ\text{C}$  (высвобождение электронно-дырочных пар, вероятно, водородоподобного типа (экситонного типа) с образованием уровней в запрещённой зоне



**Рис. 2.** Предполагаемая энергетическая диаграмма и плотность состояний в зонах  $N_c$ ,  $N_v$  в LPE i-GaAs (Si)

GaAs). Этим объясняется то обстоятельство, что глубокие центры усиливают свою электроактивность в виде скоростных рекомбинационных центров (постоянная решётки кремния всего на 4% отличается от постоянной решётки GaAs). В связи с этим, очевидно, происходит скоростной рекомбинационный процесс с туннельным обменом зарядов на симметричных глубоких центрах Si с решёткой GaAs. Одновременно параллельно происходит прямозонный переход электронов в валентную зону с квантовым инфракрасным излучением. На это косвенно указывает снижение объёмного p-i-n инжекционного заряда на 5–10% при температуре  $T_j \geq 250^\circ\text{C}$  (снижение времени восстановления обратного сопротивления p-i-n-структур), что не обнаружено в Si, SiC p-i-n и SBD-структурах (в Si p-i-n-структуре с ростом температуры заряд обратного восстановления утраивается (при  $T_j = 125\text{--}150^\circ\text{C}$ )).

Возбуждение (некритическая ионизация) по водородоподобному типу фотонными импульсами со значениями меньше порога энергии ионизации амфотерных атомов кремния в решётке GaAs неизбежно приведёт к изменению диэлектрической проницаемости решётки LPE i-GaAs, легированного кремнием, с очень медленным ростом  $\epsilon$  до определённого критического уровня ( $\approx \geq 10^{17} \text{ см}^{-3}$  атомов кремния в GaAs), с дальнейшим резким значительным ростом  $\epsilon$  (см. рис. 1) предположительно в несколько раз, при инвертировании i-проводимости в n-тип, или, что более вероятно, при понижении температуры – в r-тип.

Таким образом, как приведённые практические данные, так и теоретические предположения совершенно очевидно ведут к новым качественным дополнениям в зонной теории проводимости полупроводников  $A_{III}B_{V}$ , легированных амфотерными примесями IV

группы таблицы Менделеева в процессе LPE-выращивания.

Впервые эффект инвертирования собственной i-проводимости LPE GaAs («графитовый» метод выращивания), легированного амфотерными атомами германия, описан лауреатами Ленинской премии В.М. Андреевым, Л.М. Долгиновым и Д.Н. Третьяковым в монографии под редакцией лауреата Нобелевской премии Ж.И. Алфёрова «Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов» [10]. В монографии показано инвертирование по типу i → n-тип на уровне  $\geq 3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$  атомов Ge в GaAs.

Амфотерность в GaAs также присутствует и при легировании атомами олова (в LPE-процессе выращивания). Амфотерность атомов IV группы Таблицы Менделеева проявляется и в таких соединениях  $A_{III}B_{V}$ , как InSb, GaSb, InAs и другие.

Энергетика реального монокристалла, выращенного методом жидкофазной (LPE) эпитаксии, легированного амфотерными атомами кремния (Si), синхронно замещающими атомы Ga и As в кристаллической решётке GaAs, показана на рисунке 2.

На рисунках 3 и 4 показана существенная качественная разница свойств полупроводниковых монокристаллов Si и LPE i-GaAs (Si – кварц).

На основании оценки новых физических свойств LPE i-GaAs, показанных на рисунках 1, 2, 3 и 4, следует, что на основе свойств инвертирования i-проводимости в классическую примесную проводимость, практической независимости уровня Ферми от температуры в диапазоне 300–600 K, а также фактора зависимости  $\epsilon = f(N_A, N_D)_{\text{Si}}$  и резкого снижения энергии ионизации с ростом концентрации амфотерных атомов, возможно построение принципиально новых фотонных приборов с динамической проводи-

мостью электромагнитной энергии со скоростями на 2–2,5 порядка выше, чем в классических полупроводниковых приборах и с более высокой энергоплотностью.

### ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Такие фирмы, как IBM, а также Intel и Samsung, примерно к 2018 г. подготовят условия, когда зонную теорию проводимости ждёт участь «динозавров».

При длине дрейфового пролёта электрона в кристаллической решётке ионно-связанных материалов  $A_{III}B_V$ , таких как GaAs, InP, InSb, GaSb и другие, не более чем 45 Å или 4,5 нм, при приложении внешнего электрического поля носители заряда не будут испытывать рассеяния (то есть пролёт электронов не будет сопровождаться выделением джоулева тепла). Что это значит? Ток в теле GaAs не будет подчиняться основополагающей формуле зонной проводимости  $j = qn\mu E$  (где  $q$  – заряд электрона,  $n$  – концентрация электронов в единице объёма,  $\mu$  – параметр, который связывает скорость с приложенным полем и является характеристикой рассеяния свободных носителей при дрейфовом пролёте в решётке,  $E$  – сила поля).

В условиях безрассеянного (беспрепятственного) дрейфового пролёта электронов логично, что электрон в пролётном пространстве не генерирует (не продуцирует) процесс лавинизации электронной массы (классическое рассеяние электронов на фононах, электронах, примесных центрах и других), и, следовательно, такое понятие, как критическая напряжённость поля, теряет всякий смысл. То есть напряжённость поля в кристалле может быть сколь угодно большой, на порядки превосходя критическую напряжённость поля по зонной теории в полупроводниках, которая колеблется в пределах  $10^5 - 2 \times 10^6$  В/см (в зависимости от ширины запрещённой зоны полупроводника и уровня легирующей примеси в переходных областях, в частности, в GaAs  $E_{crit} = 2 \times 10^5 - 4 \times 10^5$  В/см, в алмазе величина  $E_{crit}$  – на порядок выше, чем в GaAs).

Безрассеянный пролёт электронов в мега-субгерцовых полях в кристаллической решётке GaAs с дипольной (ионной) поляризацией атомной структуры решётки будет в наномасштабе напоминать твёрдовакуумный ускоритель или тот же самый цикло-

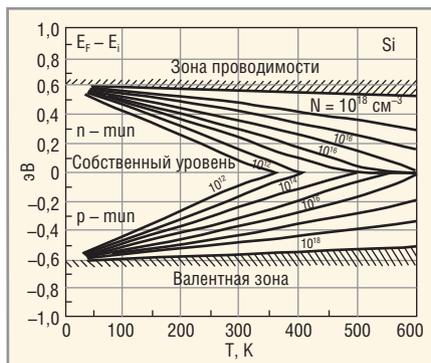


Рис. 3. Зависимость уровня Ферми в кремнии от температуры и концентрации примесей и процесса сужения запрещённой зоны [7]

трон (нанокотлайдер), где скорость электрона будет определяться по «стандартной» релятивистской формуле:

$$V_q = \frac{q \times E_{qt}}{m} \cdot t, \quad (3)$$

где  $q$  – заряд электрона,  $m$  – его циклотронная масса,  $t$  – время ускорения, а  $E_{qt}$  – внешнее электрическое поле, а точнее – разница между приложенным полем внешнего источника и полем внутренней поляризации ионно-связанного кристалла ( $E_{qt} = E_{вн} - E_{пол}$ ).

В классической физике принято, что начальная скорость электрона при нулевой напряжённости внешнего электрического поля равна нулю ( $v = \mu E$ ). В данном случае следует предположить, что к моменту приложения поля к дрейфовому каналу электроны не обладают нулевой температурой по шкале Кельвина ( $kT = 0$ ), то есть их скорость на длинах меньших, чем 4,5 нм в ионно-связанной решётке GaAs, в момент приложения электрического поля будет сходной с «ньютоновской», то есть:

$$V_q = V_0 + at, \quad (4)$$

где

$$a = \frac{q \times E}{m}$$

Из вышеприведённого следует, что электрон с циклотронной массой  $9,11 \times 10^{-28}$  г (1/1836 массы протона) и зарядом  $q = 1,60 \times 10^{-19}$  к в сильных полях в дрейфовом канале с  $l \leq 4,5$  нм твердотельного вакуума в GaAs будет иметь все присущие релятивистскому кванту характеристики:

- энергию электрического поля ( $W_e = qU/2$  при  $U = 1,0$  В)  $\approx 0,8 \times 10^{-19}$  Дж;
- энергию магнитного потока из условия  $\epsilon_0 \epsilon E = \mu_0 \mu H$ , то есть  $W_M = 0,8 \times 10^{-19}$  Дж;
- электромагнитную массу в твердотельном вакууме  $M = \epsilon_0 \mu_0 W$  (кг);

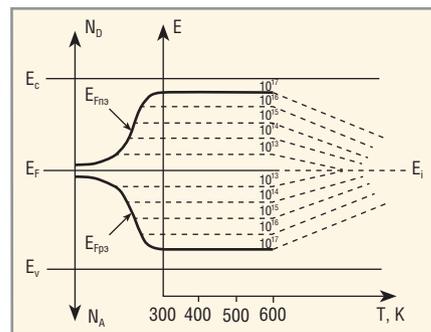


Рис. 4. Прогнозируемая зависимость встроенных «водородоподобных» квазиуровней Ферми в LPE i-GaAs от концентрации амфотерных атомов Si и от температуры

- электромагнитный импульс  $p = (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2} W$  (кг × м/с), магнитный момент  $M_M = q/\epsilon_0 \mu_0 2\pi V$ ;
- спин  $O = q\Phi_{0\pi}$  (Дж × с);
- волну де Бройля.

Возникает вопрос – можно ли разогнать электрон в баллистическом канале до уровня световой скорости в вакууме? Исходя из рассуждений, что:

$$V_{lim} = V_0 + \frac{q \times E_{qt}}{m} t,$$

предельная скорость  $V_{lim}$  будет определяться не только начальной контактной скоростью, но и величиной напряжённости поля и временем пролёта. Хотя здесь мы можем столкнуться с логическим противоречием, что при  $L = 4,5$  нм можно набрать гораздо большую энергию, чем на длине постоянной решётки GaAs  $L = a = 0,56$  нм. На самом деле ожидается, что этого противоречия нет вследствие того, что будет возрастать роль эффекта сверхполевого туннелирования (свободное перемещение валентно-связанного электрона на внешней орбите атома в проводящее состояние). Другими словами, релятивистская валентная орбитальная энергия электрона переводится в энергию дрейфовой релятивистской проводимости со скоростью ( $V = V_0 + at$ ). Неприкосновенность теории относительности Эйнштейна мы в данном случае не затрагиваем.

При безрассеянном дрейфе (пролёте) в сверхполях, допустим, при  $U = 10$  В (то есть на два порядка выше классической критической напряжённости поля) мы предполагаем, что будут наблюдаться два явления проводимости в канале GaAs с  $L = 4,0$  нм, как это было качественно показано в статье «Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs-монокристаллов» [4].

Из анализа диаграмм на рисунках 5а и 5б следует, что вероятность туннели-

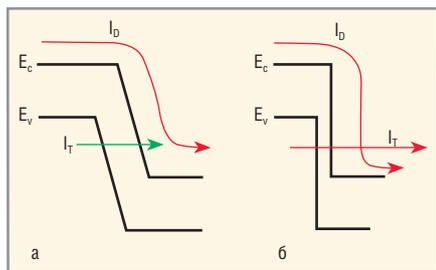


Рис. 5. Энергетическая диаграмма при н.у.:

- а) идеального проводника;
- б) сверхпроводника

рования электронов во втором случае гораздо выше, чем в первом, и она оценивается как:

$$p = \exp\left(-\frac{E_0}{E}\right), \quad (5)$$

где:

$$E_0 = \frac{\pi \cdot E_{qGaAs}^{3/2} \cdot m_r^{1/2}}{2 \cdot \hbar e}, \quad (6)$$

где:

$$E_{qGaAs} = 1,43 \text{ эВ};$$

$\hbar$  – круговая постоянная Планка;

$e$  – заряд электрона;

$$m_r = \frac{m_n \times m_p}{m_n + m_p} \text{ – приведённая эффективная масса электронов и дырок.}$$

В случае, показанном на рисунке 5а,  $I = I_D + I_T$ , где  $I_T \ll I_D$ , то есть  $I \approx I_D$ .

В случае, показанном на рисунке 5б,  $I = I_D + I_T$ , где  $I_T \approx$  или  $> I_D$ .

В итоге в первом случае (см. рис. 5а) ток обусловлен безрассеянным механизмом переноса, то есть идеальным проводником. Во втором случае (см. рис. 5б) – это классический пример сверхпроводника, то есть явления коллективного переноса электрического заряда.

Известно, что высокоэнергетичный электрон (допустим, бета-излучение изотопов, РЭМ – электроны, циклотронные пучки) обладает волной де Бройля  $\lambda = 1,22/E^{1/2}$ , где  $[\lambda] = \text{нм}$ , а  $[E] = \text{эВ}$ , энергия электрона. При наличии потенциального барьера энергия электрона трансформируется в энергию гамма-рентгеновского излучения (X-rays). Следовательно, путём модуляции 2D-параметров сечения канала мы гипотетически можем набрать суммарную плотность потока электронов с огромными энергиями с последующим сверхплотным излучением гамма-квантов (гамма-лазер).

В вышеописанном случае приведён пример релятивистской проводимости, на базе которой можно реализо-

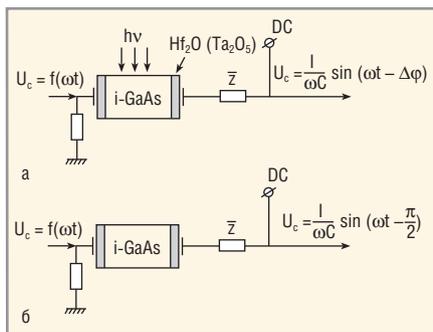


Рис. 6. Квантово-динамический вентиль

вать исключительные энергетические возможности, абсолютно немислимые на базе зонной проводимости. Например, сверхэффективный холодный катод (наноаналог РЭМ) или невероятно мощные лазеры с импульсным эквивалентом совокупности мощности Солнца ( $10^{23} \text{ Вт/см}^2$ ) и другие. То есть это – гиперэнергия.

Приведём в кратком виде несколько моделей (из множества других вариантов) фотонной проводимости на основе взаимодействия фотонов (электромагнитных квантов) и зонных свойств ионно-связанного LPE i-GaAs-монокристалла.

### Квантовый вентиль, или квантово-динамический ВАРИКАП

В данном случае, при демонстрации модели квантово-динамического релятивистского вентилья (см. рис. 6) мы не демонстрируем «материнскую» модель квантового фото-FET вентилья, выполненного на основе глубокой физической и качественной переработки эффекта Франца–Келдыша, необходимого для СВЧ и терагерцового применения (усиление, генерация или функции волнореза (предохранителя) сверхмощных входных СВЧ ЭМИ) – это уже в прошлом. Здесь следует сосредоточить внимание на конструкции квантово-динамического вентилья, или, упрощённо, релятивистского варикапа.

Сущность моделей заключается в модуляции зарядовой ёмкости системы на основе двух параметров из i-GaAs ( $\epsilon \approx 12$ ) и  $\text{Hf}_2\text{O}$  ( $\epsilon \approx 120$ ). В случае (б) на рисунке 6 общая последовательная ёмкость очень незначительная, то есть  $C_{60} = C_{i-GaAs}$ .

В случае (а) на рисунке 6 из-за резкого сброса квантовой ионизацией сопротивления изолятора i-GaAs с  $\rho > 10^9 \text{ Ом} \times \text{см}$  на десять порядков и более, что вытекает из взаимодействия энергетики LPE i-GaAs с внешними квантами  $h\nu$  и приложенного поля

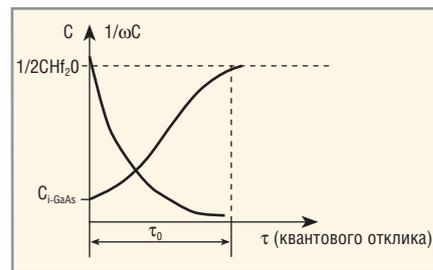


Рис. 7. Волновой варикап, где  $\tau_0$  зависит от плотности и времени ионизации растворённых в i-GaAs амфотерных атомов кремния

$E (V_{DC})$  (см. диаграмму на рисунке 7). Тогда следует, что в случае (б) ёмкость системы i-GaAs/ $\text{Hf}_2\text{O}$  на фиксированной частоте будет постоянной и равна  $C_{i-GaAs}$ . В случае (а) ёмкость сведётся к общей ёмкости  $\approx 1/2$ ,  $C_{\text{Hf}_2\text{O}}$ , при этом  $C_{\text{Hf}_2\text{O}} \gg C_{i-GaAs}$ .

Графически реактивный отклик квантово-релятивистского вентилья будет выглядеть так, как показано на рис. 7.

Приведённая конструкция фотонного вентилья (релятивистского варикапа), вероятно, будет пригодна для «фазо-укладки» в СВЧ-цепях АФАР, а также, в сочетании с нагрузкой Z, можно усиливать, делить, умножать и смешивать частоты.

### «ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ» РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ LPE i-GaAs

Если LPE i-GaAs-диэлектрик поместить в постоянное внешнее поле, то физические процессы, связанные с механизмами поляризации, будут мало отличаться от аналогичных процессов в изоляторах, таких как  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Hf}_2\text{O}$  и других.

То есть при приложении статического поля токи утечки в i-GaAs-изоляторе будут иметь очень низкие, микроскопические значения, что показано на рисунке 8.

В данном конкретном случае проводится демонстрация токов утечки в i-GaAs-слое p-i-n GaAs-структуры с ALD пассивацией поверхности i-GaAs-структур ALD-изолятором  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной  $\approx 15 \text{ нм}$ , полученной в Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарёва, г. Саранск (д.т.н. К.Н. Нищев). Для информации: замеры произведены в Институте физики в Эстонии, г. Тарту.

Несмотря на приличную наноамперную составляющую обратного тока p-i-n GaAs-конденсатора, которая обусловлена, в основном, не самой

пока лучшей или отработанной ALD-технологией пассивации на установках фирмы Veeco (Финляндия), тем не менее, можно говорить о свойствах готового к применению i-GaAs-изолятора. Повышение рабочей температуры i-GaAs-кристалла не приводило к катастрофическому росту тока и, в целом, был достигнут блестящий обнадёживающий результат: ток утечки p-i-n GaAs-конденсатора составил при температуре кристалла  $T_j = 300^\circ\text{C}$  не более  $10^{-6}$  А/мм<sup>2</sup>, что при параметре удельной ёмкости в 1,5–1,8 пФ/мм<sup>2</sup> вполне допустимо для построения сверхдобротных (до 10 000) СВЧ-GaAs варикапов, как полевых, так и релятивистских.

При приложении переменного электрического поля к ионно-связанному LPE i-GaAs-диэлектрику с увеличением частоты СВЧ-сигнала  $\omega$  поляризуемость ионно-связанной молекулы GaAs будет постепенно запаздывать относительно частоты сигнала, что приведёт к изменению диэлектрической проницаемости (или к дисперсии  $\epsilon$ ).

На рисунке 9 приведена классическая зависимость диэлектрической проницаемости от частоты проходящего через тело диэлектрика высокочастотного сигнала [11].

В работе Павлова и Хохлова [11] показано, что на частотах  $10^4$ – $10^5$  Гц гасятся разновидности объёмно-зарядовой поляризации (электроны, ионы). При повышении частоты волны, проходящей через диэлектрик, до  $10^5$ – $10^{11}$  Гц диэлектрическая проницаемость уменьшается вследствие ослабления тепловых механизмов поляризации (электронная, ионная, дипольная). «При частотах, соответствующих инфракрасной области спектра ( $10^{12}$ – $10^{15}$  Гц) происходит запаздывание ионной упругой и дипольной упругой поляри-

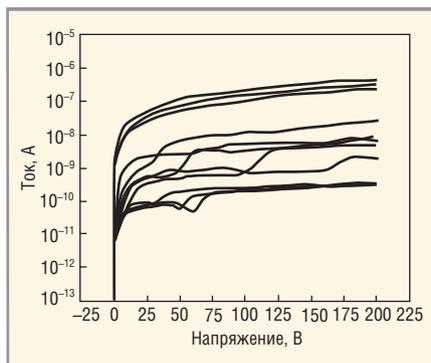


Рис. 8. ВАХ p-i-n 250В GaAs структуры (конденсатора площадью  $1,7 \times 1,7$  мм<sup>2</sup>)

зации. В области оптических частот ( $10^{15} \rightarrow 10^{17}$  Гц) диэлектрическая проницаемость обусловлена только электронной упругой поляризуемостью. В полях с частотами выше  $10^{17}$ – $10^{18}$  Гц поляризация уже невозможна и  $\epsilon = 1$ » [11].

Далее, исходя из уравнений Максвелла, показатель преломления

$$n = \pm \sqrt{\epsilon \mu / \epsilon_0 \mu_0},$$

где  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость диэлектрика. Тогда, с учётом того, что на оптических частотах  $\mu \approx 1$ , следует, что  $\epsilon_{\text{опт}} = n^2$ .

Необходимо отметить, что электронная упругая поляризуемость в LPE i-GaAs ожидается значительно ранее, то есть в более близком частотном диапазоне, точнее, в среднем инфракрасном диапазоне длин волн.

Вышеперечисленные законы поведения  $\epsilon = f(\omega)$  позволяют реализовать совершенно новые конструкции LPE i-GaAs-приборов на основе уже не зонной, а фотонной проводимости.

Приведём простейший пример такой конструкции триодного типа.

Структуру изолятора, показанную на рисунке 10, можно представить в виде комбинации ёмкостей (конденсато-

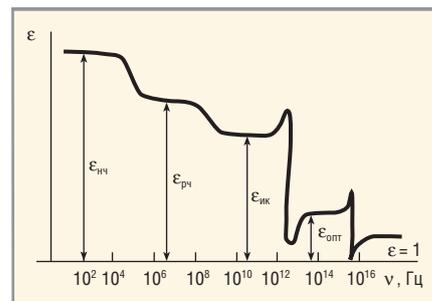


Рис. 9. Классическая зависимость диэлектрической проницаемости от частоты проходящего через тело диэлектрика высокочастотного сигнала

ров) на основе  $\text{Hf}_2\text{O}$  ( $\epsilon > 120$ ) и i-GaAs ( $\epsilon \approx 12$ ). Общая ёмкость такой последовательной комбинации ёмкостей будет обусловлена в основном ёмкостями областей (а) и (б) i-GaAs-структуры. Предположим, что  $l + L \approx 50$  мкм, тогда напряжение пробоя такой структуры составит не менее 1200 В. Электромагнитная волна пройдёт это расстояние за:

$$t = \frac{s}{c/n} \approx 6 \cdot 10^{-13} \text{ с}$$

(или  $\omega \approx \rightarrow 300$  ГГц).

Другими словами, при  $V_{\text{DC}} = 1000$  В можно оперировать частотами в субтерагерцовом диапазоне 100–500 ГГц (!) при очень приличных уровнях мощности.

Для справки: GaAs МНЕМТ D0071Н ф. ОММИС (Франция) с предельной частотой в 300 ГГц (длина канала 70 нм) функционируют при предельном напряжении питания  $V_{\text{DC}} \leq 3,0$ В.

При приложении СВЧ-сигнала к (а)-области i-GaAs структуры диэлектрическая проницаемость (а)-области изменится в сторону уменьшения, что вызовет в целом изменение реактивного сопротивления при фиксиро-

## Atmel® Микроконтроллеры Atmel® | SMART™

Компания Rainbow предлагает со склада и под заказ новейшие микроконтроллеры Atmel на базе высокопроизводительной и энергоэффективной архитектуры ARM Cortex-M0+

**SAM D10/D11 – нижнего ценового диапазона**

- оптимальное сочетание цена / функционал
- до 16 КБ FLASH, 3 USART/SPI/I2C, USB 2.0

**SAM D20/D21 – общего применения**

- до 256 КБ FLASH, 32 КБ ОЗУ, 6 USART/SPI/I2C
- USB 2.0 Full Speed Host/Device
- контроллер ёмкостных сенсоров касания



**SAM L21 – с пониженным энергопотреблением**

- идеальны для батарейного питания
- 35 мкА/МГц в активном режиме
- 200 нА в режиме глубокого сна

**SAM C20/C21 – промышленного назначения**

- напряжение питания 2,7–5,5 В
- интерфейсы CAN, LIN, SMBus, RS485
- диапазон рабочих температур до +105°C



www.rtcs.ru

Москва  
(495) 665-0201  
info@rtcs.ru

Екатеринбург  
(343) 272-0020  
eburg@rtcs.ru

Санкт-Петербург  
(812) 324-0902  
spb@rtcs.ru

Новосибирск  
(383) 211-9087  
nsk@rtcs.ru

Киев  
(+38 044) 520-0477  
svl@rainbow.com.ua

Минск  
(+375 17) 220-7692  
chip@rainbow.by

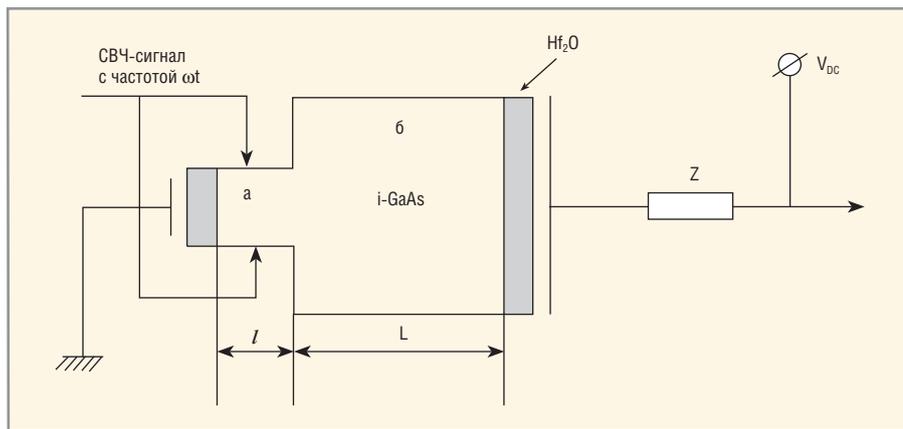


Рис. 10. LPE i-GaAs-фотонный СВЧ (терагерцовый) генератор

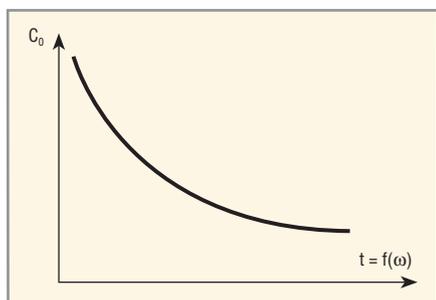


Рис. 11. Частотная зависимость комплексной ёмкости от времени релаксации диэлектрической проницаемости в областях а и б, показанных на рисунке 10. Упрощённая модель

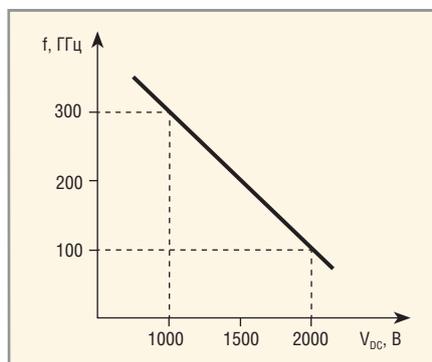


Рис. 12. Терагерцовый твердотельный высоковольтный LPE i-GaAs-генератор (расчёт)

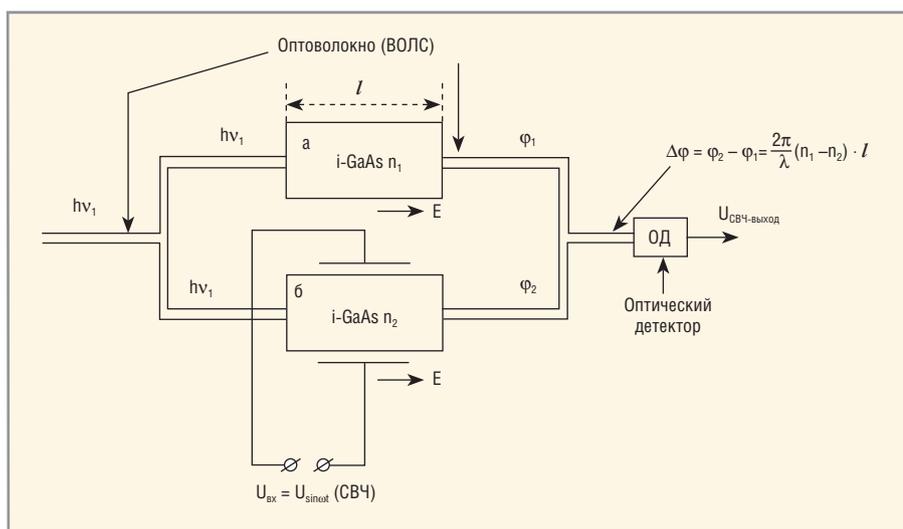


Рис. 13. Оптомодулятор Маха-Цандера на основе LPE i-GaAs

ванном значении  $V_{DC}$  в цепи системы i-GaAs/Hf<sub>2</sub>O, как это показано в общем виде на рисунке 11.

Следовательно, мы будем иметь эффект динамической электромагнитной генерации в системе i-GaAs/Hf<sub>2</sub>O, который будет пропорционален изменению  $\epsilon_{(a)i-GaAs}$  и далее  $\epsilon_{(b)i-GaAs}$ , и, соответственно, общей релятивистской составляющей  $1/\omega_{общ. i-GaAs}$ . Меняя частоты, мы будем иметь разные импедансы  $Z$  системы i-GaAs/Hf<sub>2</sub>O:

$$Z = \frac{1}{\omega C}.$$

Расчётные параметры триодного терагерцового генератора показаны на рисунке 12.

Таким образом, получается, что на базе приведённой триодной структуры можно построить:

- генератор СВЧ-частот;
- усилитель;
- смеситель;
- умножитель;
- фазовращатель.

При этом необходимо учесть, что данный триод не имеет статических потерь, связанных с потерями посто-

янной остаточной мощности в типичных транзисторах или диодах, которая усиливается с ростом частоты сигнала. Очевидно, что и коэффициент шума на СВЧ-частотах в таком релятивистском генераторе будет на сверхмалом уровне.

### ОПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЯТОР ДЛЯ ВОЛС ЦИФРОАНАЛОГОВОГО СВЧ-ПРИМЕНЕНИЯ

Как известно, скорость светового кванта в прозрачной среде определяется по формуле:

$$v = C/n,$$

где  $n$  – показатель оптического преломления среды,  $C$  – скорость электромагнитной волны фотона в вакууме.

Показатель преломления зависит от электромагнитных свойств среды, а точнее, от диэлектрической и магнитной проницаемостей. Закон изменения коэффициента преломления  $n$  определяется формулой, с помощью которой советский физик В.Г. Веселаго показал теоретическую возможность отрицательного коэффициента преломления:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu / \epsilon_0\mu_0}.$$

На практике при рассмотрении анизотропии прохождения световой волны в кристалле, например, при расчёте показателей коэффициента преломления по кристаллографическим осям, используют упрощённое значение формулы показателя преломления:

$$n_x = \sqrt{\epsilon_x} \text{ (или } n_y = \sqrt{\epsilon_y}, \text{ или } n_z = \sqrt{\epsilon_z}).$$

С учётом зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от частоты волны в изоляторе, показанной на рисунке 9, совершенно очевидно, что можно манипулировать световой волной с созданием эффективного i-GaAs-модулятора Маха-Цандера, показанного на рисунке 13.

Конструкция оптического модулятора Маха-Цандера работает следующим образом:

- световая волна в канале (а) движется со скоростью  $v_1 = C/n_1$ , где  $n_1$  – показатель преломления GaAs;
- в канале (б) световая волна движется ускоренно из-за эффекта  $n \approx \sqrt{\epsilon}$ , то есть  $v_2 = C/n_2$ ;
- разница фазовых скоростей световой волны  $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$  считается и демодулируется фотодетектором,

который воспроизводит колебания входного СВЧ-сигнала  $U_{вх} = U_{sin}\omega t$ . Показанный модулятор Маха-Цандера на основе LPE i-GaAs-монокристалла гораздо эффективнее зарубежных аналогов на основе MOCVD i-GaAs-полупроводника, что связано с резко отличающейся дефектностью эпитаксиальных слоёв GaAs (MOCVD и LPE) в пользу исключительно качественных LPE-слоёв i-GaAs. Описанная модель физически качественно новая, более ёмкая и гораздо более эффективная по сравнению с линейным электрооптическим эффектом Поккельса.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ  
О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ LPE  
i-GaAs-ЭЛЕКТРОНИКИ И ФОТОНИКИ**

В настоящей статье, как и в предыдущих публикациях, показана физическая интерпретация сверхэнергетических возможностей релятивистской наноэлектроники, высокая вероятность реализации электронной и фотонной «комнатной» сверхпроводимости и влияние вышеуказанных свёрхтехнологий на геополитический ландшафт планеты.

В статье раскрываются новые возможности LPE i-GaAs-электроники и фотоники на платформе новых физических открытий, явлений, физических моделей и конструкций, таких как COOL-инжекция [12], одновременная биполярная модуляция собственного электрохимического потенциала  $E_F$ , модуляция типа проводимости концентрацией одной и той же амфотерной примеси, усовершенствованный эффект Франца-Келдыша, абсолютно новый эффект квантового вентиля, новый эффект СВЧ и терагерцовой «диэлектрической» фотонной проводимости, новый эффект оптической модуляции взамен линейного электрооптического эффекта Поккельса и других. Можно долго перечислять абсолютно новые физические модели конструкций силовых и СВЧ-приборов, например, интегрального MOS-SIT-FET или чисто электронного GaAs – аналога биполярных кремниевых IGBT с частотами на два порядка выше, или «беспыльного» (прямая ВАХ) GaAs высоковольтного диода и так далее.

Подчеркнём также, что из данной статьи исключён раздел «Оптические DRAM», что, вероятно, будет являться предметом очередной публикации.

Коммерциализация Flash-NAND, 3D-XPoint энергонезависимой памяти

фактически грозит превратить современные цифровые системы в крупногабаритные арифмометры. В связи с этим исследования по созданию i-GaAs фотонной памяти, а также i-GaAs JHMOS-Flash SRAM с пета-циклом перезаписи и, комплектно, JHMOSFET DRAM (по единой, универсальной технологии) приобретают большую ценность для отечественной цифровой спецтехники.

Кристаллографическое совершенство LPE i-GaAs-кристаллов (на 2–3 порядка более низкая дефектность по сравнению с западными MOCVD/ MLE i-GaAs-полупроводниками) позволяет создавать как высокотемпературные радиационно-стойкие системы на кристалле (AlGaAs/GaAs, ZnSe/GaAs с  $T_j = 350-400^\circ\text{C}$ ), так и системы на кристалле субтерагерцового диапазона (100–800 ГГц) на основе GaAs/Ge с активными областями до  $1,0\text{ см}^2$  (ТКР и постоянные решёток Ge и GaAs – идеально идентичны, но при этом подвижность дырок в Ge очень высока, точнее, гораздо выше подвижности электронов в GaN; подвижность электронов в Ge и GaAs по сравнению с GaN выше в 3,5 раза и в 7 раз соответственно).

Приведённые в данной публикации идеи и модели находятся на стадии патентования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. [www.so-l.ru/news/show/ibm\\_predstavila\\_processor\\_budushego\\_s\\_7\\_nanometro](http://www.so-l.ru/news/show/ibm_predstavila_processor_budushego_s_7_nanometro).

2. Гордеев А.И. Электроника как одна из основ национального суверенитета. Силовая электроника. 2014. №6.  
 3. Vainshtein S.N., Yuferev V.S., Kostomova A.J.T., Kulagina M.M., Moilanen H.T. Significant Effect of Emitter Area on the Efficiency, Stability and Reliability of Picosecond Switching in a GaAs Bipolar Transistor Structure. Transactions on Electron Devices. 2010. Vol. 57. №4.  
 4. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.И. Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs-монокристаллов. Современная электроника. 2014. №6.  
 5. Физические величины. Справочник под ред. Григорьева И.С. Мейлихова Е.З. М. Энергоатомиздат. 1991.  
 6. Алёшкин В.Я. Курс лекций «Современная физика полупроводников». Н. Новгород. 2013.  
 7. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. Пер. с англ. под ред. Трутко А.Ф. М. Энергия. 1973.  
 8. Ashkinazi German et al. Process for Fabricating Intrinsic Layer and Applications. US Patent 5,733,815. 1998. 31 Mar.  
 9. Ашкенази Г.А. и др. Описание изобретения к авторскому свидетельству SU 1072686.  
 10. Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н., ред. Алфёров Ж.И. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М. Сов. радио. 1975.  
 11. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твёрдого тела. М. Высшая школа. 2000.  
 12. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.И. Новые возможности GaAs силовой электроники. Силовая электроника. 2014. №2.



IF/RF & Microwave Design

# advantex UNO-01M-C105X

Диапазон частот: **100 кГц .. 13 ГГц**

Шаг перестройки: **0.0001 Гц**

Уровень фазового шума: **-140 дБн/Гц**  
при отстройке **20 кГц @ 1 ГГц**

Выходная мощность: **-6..+14 дБм**

Шаг регулировки: **0.5 дБ**

**Время перестройки:**  
во всем диапазоне: **<140 мкс**

**Перестройка по частоте по импульсному сигналу**

**Опорный сигнал:**  
диапазон частот: **1-250 МГц**  
уровень мощности: **0±10 дБм**

**Интерфейс управления: USB, RS-232**

**Корпусированный синтезатор частот**



**Выход опорной частоты: 10/100 МГц**

**Рабочий диапазон: -40...+55°C**

[www.advantex.ru](http://www.advantex.ru)  
[info@advantex.ru](mailto:info@advantex.ru)

# Новый метод монтажа изделий на керамической подложке

Тамара Борисова, Надежда Оленина,  
Александр Серёгин (г. Зеленоград)

В статье рассмотрена технология монтажа компонентов на керамическом носителе с применением нового адгезива, разработанного в АО «НИИ «Субмикрон». Этот метод позволяет автоматизировать процесс сборки изделий и существенно повысить производительность.

В последнее время среди производителей различных радиоэлектронных устройств, в частности изделий специального назначения, растёт интерес к применению в качестве носителя электрорадиоизделий (ЭРИ) керамической платы (КП). Несмотря на более высокую стоимость, она имеет ряд преимуществ перед печатной платой (ПП). Керамические платы обеспечивают:

- механическую прочность;
- широкий диапазон рабочих температур;
- твёрдость;
- вакуумплотность;
- устойчивость к воздействию теплового удара;
- влагостойкость и стойкость к агрессивным средам;
- хорошие диэлектрические и тепловые свойства;
- удельное объёмное сопротивление не менее  $10^{14}$  Ом;
- пробивное напряжение не менее 10 кВ/мм;
- долговечность.

Широкому внедрению керамических плат в производство препятствует более трудоёмкий процесс сборки и монтажа ЭРИ на КП. Оптимизировать и автоматизировать процесс монтажа на керамической пла-

те невозможно даже при использовании поверхностно монтируемых ЭРИ. Поэтому традиционно пайка компонентов производится с помощью паяльника на предварительно нагретую КП, или же процесс пайки выполняется в потоке газа.

С увеличением степени интеграции КП и уменьшением размеров применяемых ЭРИ использование для монтажа традиционных способов становится проблематичным. При выполнении монтажа в потоке газа силы смачивания припоя не могут удерживать на контактной площадке компактные и лёгкие ЭРИ. Пайка же паяльником становится всё более трудоёмкой, в результате чего растёт количество брака.

Чтобы решить эту проблему специалисты АО «НИИ «Субмикрон» предлагают для монтажа компонентов на керамические платы использовать метод групповой пайки по аналогии с печатными платами, что позволило бы повысить производительность и снизить количество брака.

Однако при реализации этого метода необходимо учитывать ряд технологических особенностей. Во-первых, термопрофиль пайки керамической платы значительно отличается от профиля пайки печатной платы. Кроме того, для облуживания контактных площадок необходимо окунать керамическую плату в ванну с припоем или использовать для этой цели паяльник. Оба способа не обеспечивают заданную толщину припоя, которая варьируется от 40 до 200 мкм. Следовательно, из-за возможного переизбытка припоя на контактных площадках исключается применение паяльной пасты.

Если термопрофиль пайки в печи можно подобрать сравнительно просто, то решить проблему использования паяльной пасты практически

невозможно. Ведь помимо формирования самого паяного соединения, паяльная паста, а именно, связка, входящая в состав пасты, удерживает ЭРИ на посадочном месте и удаляет окисел с контактных площадок платы и выводов компонентов. Если для формирования паяного соединения можно использовать припой, то для замены связки паяльной пасты нужен материал, который, за счёт клеящих свойств, удерживал бы ЭРИ на посадочном месте и одновременно удалял окисел с пары контактная площадка КП – вывод компонента.

Такой материал был разработан в АО «НИИ «Субмикрон» и получил название – адгезив БОС (см. рис. 1).

Новый адгезив должен удовлетворять следующим требованиям:

- простота приготовления (отсутствие необходимости использования специальной оснастки и оборудования, а также специально обученного персонала);
- низкая стоимость материалов и доступность их приобретения;
- химическая безопасность;
- высокая технологичность использования.

Основная составляющая адгезива БОС – канифоль сосновая. Канифоль имеет 100-процентное природное происхождение, вследствие чего химически безопасна для человека.

Адгезив готовится в течение нескольких часов и не требует специальных устройств или приспособлений. Наносится в разогретом виде на всю плату целиком с помощью шпателя. Остатки смываются спиртом при промывке изделий.

Технологические процессы по приготовлению и нанесению адгезива БОС внедрены на производстве, составлены соответствующие технологические карты, обучен и аттестован необходимый персонал. Материал и технология его применения согласованы с военным представительством и могут быть использованы при производстве изделий специального назначения (космос, авиация, медицина). Примеры изделий специального назначения, собранные



Рис. 1. Внешний вид адгезива БОС

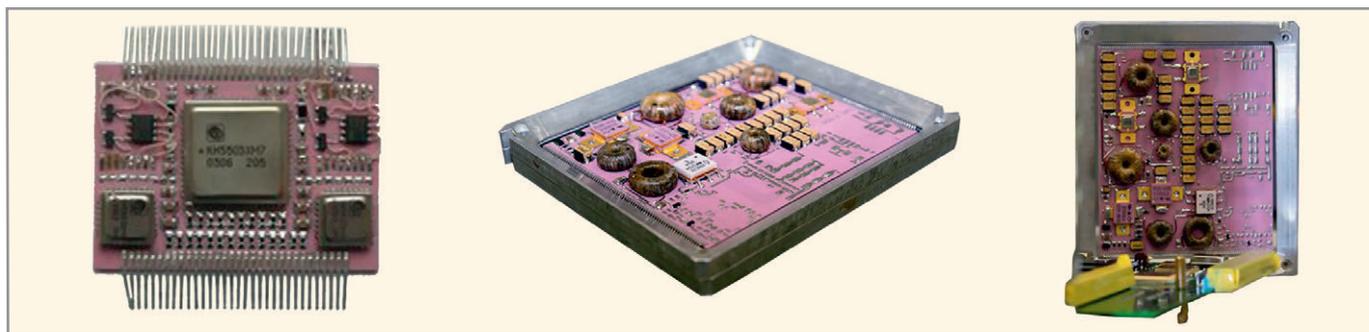


Рис. 2. Примеры изделий специального назначения, собранные с помощью адгезива БОС



Рис. 3. Полуавтомат для установки ПМИ SM902 FRITSH



Рис. 4. Конвекционная печь оплавления Electrovert

с помощью адгезива БОС, показаны на рисунке 2.

Технологический процесс изготовления изделия на керамической плате включает в себя следующие этапы:

- нанесение адгезива БОС на плату;
- установка ЭРИ;
- оплавление;
- отмывка изделия.

Адгезив БОС наносится на плату шпателем в разогретом до 60°C состоянии. Есть возможность наносить адгезив только на контактные площадки платы.

Для установки ЭРИ на керамическую плату применяется полуавтомат установки поверхностно монтируемых изделий (ПМИ) SM902 FRITSH

(см. рис. 3). По данным производителя, скорость установки компонентов на полуавтомате составляет около 900 компонентов в час.

Оплавление производится в конвекционной печи Electrovert (см. рис. 4).

Если все стадии процесса оптимизированы и работают правильно, то при использовании данной технологии можно добиться повышения производительности до 200%. Одним из основных факторов роста производительности является то, что при повышении интеграции КП и уменьшении размеров используемых ЭРИ скорость процессов установки компонентов на керамическую плату и оплавления прак-

тически не снижается. При ручной же сборке и монтаже изделий время, затрачиваемое на монтаж ЭРИ, увеличивается, порой, в несколько раз.

Успешное тестирование изделий, изготовленных с применением адгезива БОС, показало, что этот метод имеет отличные перспективы широкого применения в новых разработках и при производстве устройств на базе керамических плат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заводян А.В., Волков В.А. Производство перспективных ЭВС. Учебное пособие. Часть 2. 1999. М. МИЭТ. С. 280.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Рынок смарт-часов

Компания J'son & Partners Consulting представляет результаты исследования рынка смарт-часов – нового высокотехнологичного сегмента носимых устройств.

В исследовании анализируются тенденции мирового и российского рынков, ассортимент и отношение потребителей к продукту.

Смарт-часы – самый популярный тренд на мировом рынке потребительской техники. В 2014 г. продажи смарт-часов соста-

вили 6,8 млн устройств от 89 производителей, при этом средняя цена высокотехнологичного устройства составила \$189. Потенциал рынка смарт-часов подтверждают впечатляющие темпы роста поставок устройств: 457,3% за второй квартал 2015 г. по сравнению с показателями за аналогичный период 2014 г.

На российском рынке популярность смарт-часов растёт аналогично мировому тренду. При этом продажи устройств пока

ещё невелики: менее 50 тысяч проданных устройств в 2014 г.

Суммарный ассортимент смарт-часов, представленных на российском рынке на конец второго квартала 2015 г., составлял около 100 моделей. Наибольшее количество устройств представлено в ценовом диапазоне от 10 000 до 20 000 руб. Примерно половина всех устройств оснащена GPS, а 9% – слотом для SIM-карты.

**Пресс-служба J'son & Partners Consulting**

# Новости мира News of the World Новости мира

## CompactPCI Serial обновлён до версии 2.0

Американский консорциум PICMG обновил до второй редакции промышленный стандарт CompactPCI Serial. Этот стандарт – преемник хорошо известного CompactPCI, который сейчас применяется в более чем десяти тысячах решений.

В активе CompactPCI Serial:

- естественный наследник CompactPCI;
- заменяет параллельные данные CompactPCI последовательными;
- использует исключительно существующие стандарты Ethernet, PCI Express, SATA и USB (3.0);
- благодаря простой и, следовательно, недорогой технологии, применяется в широком диапазоне решений в промышленной автоматике и на транспорте.

Главной причиной обновления CompactPCI Serial до второй редакции стала необходимость упростить спецификацию и технологии. Спецификация CPCI-S.0 была буквально постранично переписа-

на в более чётких формулировках, чтобы упростить применение. Стандарт также был оптимизирован в части технологии. Теперь спецификация определяет порядок компонентов в системе с учётом их совместимости. Это означает, что, по сравнению с другими стандартами, нельзя задать настроечные профили (потенциально они могут привести к появлению неконтролируемого количества взаимоисключающих вариантов). CompactPCI Serial – это однородный стандарт с непрерывной совместимостью: открытый, практичный и удобный. Как следствие, редакция 2, конечно же, обратно совместима с редакцией 1.

CompactPCI Serial – технология, не теряющая со временем своей актуальности, благодаря гибкости использования в промышленной автоматизации, производстве и распределении электроэнергии, медицинской технике, транспортных проектах на дорогах, путях и море, в дальних и ближних перевозках, а также в авиации.

В типовом решении для автоматизации линии фасовки и упаковки пищевых про-



дуктов, CompactPCI Serial полностью контролирует машины и соответствующие камеры для сбора продукции, её хранения и архивации фотографий. Преимущество CompactPCI Serial по сравнению с обычным промышленным ПК – это компактная конструкция системы, которая сочетает несколько функций управления на двух процессорных платах в одной платформе. Кроме того, решение с CompactPCI Serial – наиболее выгодная альтернатива с экономической точки зрения.



# Komponenta

Группа Компаний



От идеи до устройства!

ООО «Оптим»  
+7 (495) 645-74-04

ЗАО «Компонента»  
+7 (495) 133-04-85

www.komponenta.ru  
info@komponenta.ru

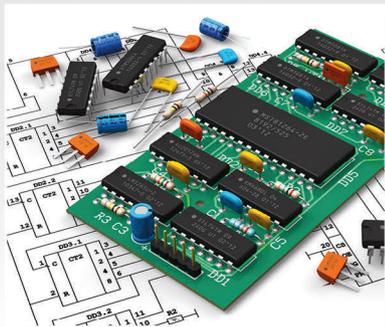
**ПРЯМЫЕ ПОСТАВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ СО СКЛАДА И ПОД ЗАКАЗ**

Atmel, TE Connectivity, Weidmuller, Xilinx, Spansion и др.

**ДИСТРИБЬЮЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ДИСПЛЕЙ ОТ ВЕДУЩИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

Futaba, Kingbright, Lumineq, Bolymin и др.

**УСЛУГИ ПОЛНОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ**  
три ультрасовременные линии Mirae



## Новости мира News of the World Новости мира

Ещё одно применение в энергетическом секторе – использование CompactPCI Serial для создания системы сбора данных, а также серверов на буровых установках. Поскольку они находятся на открытом воздухе, компьютеры должны быть очень надёжными и работать как при полярных, так и при тропических температурах. Более 10 плат в системе рассеивают до 200 ватт, что делает необходимым принудительное охлаждение и охлаждение за счёт теплопроводности – для CompactPCI Serial это не проблема. Кроме того, это очень компактное решение, так как объединяет четыре компьютера в одной системе. Связь с корпоративной сетью осуществляется через Ethernet-соединение с модулем спутниковой связи.

На общественном транспорте весьма распространено использование CompactPCI Serial в качестве платформы для построения различных информационных систем и систем безопасности. Будучи мобильными сетевыми устройствами, а также шлюзами для Интернета вещей, эти системы обычно

используют взаимодействие между несколькими транспортными средствами или между транспортными средствами и неподвижными объектами. При этом удобство использования CompactPCI Serial заключается в её способности к модульной адаптации: возможности подстраиваться к постоянно меняющимся стандартам мобильных телекоммуникационных систем.

Хорошие позиции CompactPCI Serial занимает и в авионике. Например, в БПЛА, предназначенных для воздушного наблюдения. Она применяется в системах распознавания объектов, предотвращения столкновений, а также в интеллектуальных системах видеонаблюдения. Малый объём и вес – главные преимущества системы, особенно в сочетании с мультиустройственной функциональностью, поддерживаемой посредством полносвязной и стандартизированной топологии. Кроме того, важную роль во всех бортовых системах играет подключение через радиосвязь, спутник или интернет к другим самолётам или наземным станциям.

CompactPCI Serial работает и в научно-исследовательских установках. Например, в элементах системы управления ускорителем частиц, а также в установках, работающих в экстремальных климатических условиях, таких как сейсмографы. Параметры CompactPCI Serial соответствуют всем требованиям научно-исследовательских разработок: она устойчива к экстремальным средам, обладает симметричностью многопроцессорной обработки, масштабируемостью многопроцессорной архитектуры с высокой вычислительной производительностью, а также возможностью модульной адаптации к различным проектам и эффективной полносвязной топологией подключения через Ethernet или беспроводные сети.

CompactPCI Serial – идеальная платформа для коммуникаций в Интернете вещей, так как она частично основана на открытых стандартах. Это важнейшее условие для обеспечения взаимодействия будущих стандартов программного обеспечения в мире Интернета.

[www.embedded-control-europe.com](http://www.embedded-control-europe.com)

 **Komponenta**

ЗАО «Компонента» [www.komponenta.ru](http://www.komponenta.ru)  
+7 (495) 133-04-85 [info@komponenta.ru](mailto:info@komponenta.ru)

 **Windows Embedded**

# ВСТРЕЧАЙТЕ WINDOWS 10 IOT

Новая версия операционной системы Windows IoT доступна в 3 редакциях:



- **Windows 10 IoT Enterprise (Industry)** предназначена для широкого круга устройств, таких как банкоматы, тонкие клиенты, POS-устройства, медицинские и промышленные устройства. Эта версия операционной системы предоставляет все возможности и полную совместимость с Windows 10 Enterprise, включая дополнительные функции по созданию узкоспециализированных устройств.  
**Технические требования:** 1GB RAM, 16 GB Storage. x86

- **Windows 10 IoT Mobile Enterprise (Mobile)** предназначена для мобильных устройств, таких как переносные мобильные терминалы.  
**Технические требования:** 512MB RAM, 4GB Storage. ARM

- **Windows 10 IoT Core (Athens)** компактная операционная система без Windows Desktop Shell, предназначенная для маленьких и недорогих устройств и поддерживает Universal Windows Apps.  
**Технические требования:** 256MB RAM, 2GB Storage. ARM или x86

Реклама

# Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices

## Часть 2

Юрий Петропавловский (г. Таганрог, Ростовская обл.)

В первой части статьи, опубликованной в журнале «Современная электроника» (№ 6-2015), представлена история создания микросхем с интегрированными МЭМС компании Analog Devices. Во второй части приведены параметры и рассмотрены особенности современных аналоговых и цифровых акселерометров и гироскопов, выпускаемых компанией.

### СОВРЕМЕННЫЕ МЭМС-ПРОДУКТЫ

В каталоге Analog Devices 2015 года МЭМС-продукты представлены в следующих категориях:

- акселерометры серии ADXLxxx (более 25 типов приборов);
- гироскопы серии ADXRSxxx (13 типов);
- подсистемы МЭМС акселерометров iSensor серии ADIS16xx (12 типов);
- подсистемы МЭМС гироскопов iSensor серии ADIS16xx (9 типов);
- МЭМС инерциальные измерительные модули iSensor серии ADIS16xx (13 типов) [5].

Классификационные параметры акселерометров, гироскопов и подсистем iSensor компании на основе дан-

ных технических описаний (спецификаций) конкретных приборов приведены в таблице (в сводных таблицах на сайте ADI имеются неточности и пробы).

У таблицы есть ряд важных особенностей:

- Диапазон ускорений акселерометров измеряется в единицах g ( $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ ), в подсистемах акселерометров, предназначенных для измерения углов наклона (инклинометрах) – в градусах. Диапазон угловых скоростей гироскопов и подсистем измеряется в градусах на секунду ( $^\circ/\text{с}$ ), знак ускорения, угла наклона и угловой скорости определяет направление соответствующих векторов. Значения ускорений или угло-

вых скоростей, приведённые в таблице через дробь, обычно означают, что они могут выбираться пользователем, однако для некоторых микросхем разные значения параметров определяются их исполнением.

- Шумовые параметры акселерометров компании обычно выражены в единицах спектральной плотности шума –  $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$  или  $\text{мг}/\sqrt{\text{Гц}}$ , одно значение плотности шума соответствует типовому, два значения плотности шума, приведённые в таблице через дефис, обычно означают типовые параметры для различных осей измерения (X, Y, Z). Для некоторых приборов шум выражается в значениях долей младшего разряда выходного цифрового кода – n LSB rms, бóльшим значениям n соответствует и бóльший уровень шума. Значения шумовых параметров, выраженные двумя числами через дефис, соответствуют типовым значениям при различных режимах работы прибора или различных осях измерения. Шумовые параметры гироскопов выражены в соответствующих

Классификационные параметры акселерометров, гироскопов и подсистем iSensor компании Analog Devices

Назначение	Тип прибора	Число осей	Диапазон ускорений, угловых скоростей ( $\pm$ )	Шумовые параметры	Тип выхода	Чувствительность	Ток потребления	Упит, В	Диапазон температур, $^\circ\text{C}$	Примечания
Акселерометры	ADXL363	3	2/4/8 g	175 – 920 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI (12 бит)	1 – 4 $\text{мг}/\text{LSB}$	0,27 – 13 $\text{мкА}$	1,6 – 3,5	-40...+85	2013 г., с датчиком температуры
	ADXL375	3	200 g	5 $\text{мг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, $^\circ\text{C}$	49 $\text{мг}/\text{LSB}$	145 $\text{мкА}$	2 – 3,6	-40...+85	2013 г.
	ADXL313	3	0,5/1/2/4 g	150 – 250 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, $^\circ\text{C}$	128 – 1024 $\text{LSB}/\text{g}$	170 $\text{мкА}$	2 – 3,6	-40...+105	2013 г.
	ADXL377	3	200 g	2,7 – 4,3 $\text{мг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	6,5 $\text{мВ}/\text{g}$	300 $\text{мкА}$	1,8 – 3,6	-40...+85	2012 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм
	ADXL362	3	2/4/8 g	175 – 920 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, (12 бит)	1 – 4 $\text{мг}/\text{LSB}$	1,8 $\text{мкА}$	1,6 – 3,5	-40...+85	2012 г., мощный
	ADXL350	3	1/2/4/8 g	1,1 – 1,7 $\text{LSB rms}$	SPI, $^\circ\text{C}$	1,95 – 15,63 $\text{мг}/\text{LSB}$	166 $\text{мкА}$	2 – 3,6	-40...+85	2012 г.
	ADXL344	3	2/4/8/16 g	1,5 $\text{LSB rms}$	SPI, $^\circ\text{C}$	32 – 256 $\text{LSB}/\text{g}$	140 $\text{мкА}$	1,7 – 2,75	-40...+85	2012 г., мощный
	ADXL343	3	2/4/8/16 g	1,1 $\text{LSB rms}$	SPI, $^\circ\text{C}$	32 – 256 $\text{LSB}/\text{g}$	140	2 – 3,6	-40...+85	2012 г.
	ADXL212	2	2 g	500 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	ШИМ	12,5 $\%/g$	0,7 $\text{мА}$	3 – 5,25	-40...+85	2011 г., ШИМ-выход
	ADXL206	2	5 g	110 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	312 $\text{мВ}/\text{g}$	0,7 $\text{мА}$	4,75 – 5,25	-40...+175	2011 г., прецизионный, термостойкий
	ADXL312	3	1,5/3/6/12 g	340 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	SPI, $^\circ\text{C}$	43 – 345 $\text{LSB}/\text{g}$	170 $\text{мкА}$	2 – 3,6	-40...+105	2010 г.
	ADXL337	3	3 g	175 – 300 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	300 $\text{мВ}/\text{g}$	300 $\text{мкА}$	1,8 – 3,6	-40...+85	2010 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм
	ADX346	3	2/4/8/16 g	1,1 – 1,5 $\text{LSB rms}$	SPI, $^\circ\text{C}$	32 – 256 $\text{LSB}/\text{g}$	140 $\text{мкА}$	1,7 – 2,75	-40...+85	2010 г., мощный
	ADXL327	3	2 g	250 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$	аналоговый	420 $\text{мВ}/\text{g}$	350 $\text{мкА}$	1,8 – 3,6	-40...+85	2009 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм

Назначение	Тип прибора	Число осей	Диапазон ускорений, угловых скоростей ( $\pm$ )	Шумовые параметры	Тип выхода	Чувствительность	Ток потребления	Упит, В	Диапазон температур, °С	Примечания
Акселерометры	ADXL326	3	16 g	300 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	57 мВ/g	350 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2009 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм
	ADXL325	3	5 g	250 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	174 мВ/g	350 мкА	1,8 – 3,6	-40...+85	2009 г., корпус 3 × 3 × 1,45 мм
	ADXL345	3	2/4/8/16 g	0,75 LSB rms	SPI, I <sup>2</sup> C	32 – 256 LSB/g	140 мкА	2 – 3,6	-40...+85	2009 г.
	ADXL001	1	70/250/500 g	3,3 – 4,25 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	2,2 – 16 мВ/g	2,5 мА	3,135 – 6	-55...+125	2010 г., прецизионный
	ADXL335	3	3 g	150 – 300 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	300 мВ/g	350 мкА	1,8 – 6	-40...+85	2009 г., корпус 4 × 4 × 1,45 мм
	ADXL180	1	50–500 g	2 LSB rms	8–10 бит	0,125 – 5 g/LSB	7,7 мА	5 – 14,5	-40...+125	2008 г., IMEMS, конфигурируемый
	ADXL213	2	1,2 g	160 мкг/ $\sqrt{Гц}$	ШИМ	30%/g	0,7 мА	3 – 6	-40...+85	2004 г., бюджетный
	ADXL203	2	1,7/5/18 g	110 – 200 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	1000 мВ/g	0,7 мА	3 – 6	-40...+125	2004 г., IMEMS
	ADXL103	1	1,7/5/18 g	110 – 200 мкг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	100 – 1000 мВ/g	0,7 мА	3 – 6	-40...+125	2004 г., IMEMS
	ADXL78	1	35/50/70 g	1,1 – 1,8 мг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	27/55 мВ/g	1,3 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г., iMEMS
	ADXL278	2	35/50/70 g	1,1 – 1,8 мг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	27/55 мВ/g	2,2 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г., iMEMS
	ADXL193	1	120/250 g	3 – 5 мг/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	8 мВ/g	1,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г., iMEMS
Гироскопы	ADXRS290	2	100°/с	0,004°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI (16 бит)	200 LSB/°/с	7,8 мА	2,7 – 5	-25...+85	2014 г., с малыми шумами
	ADXRS645	1	2000°/с	0,25°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	относительная	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+175	2014 г., вибро- и термостойкий
	ADXRS646	1	250°/с	0,01°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	9 мВ/°/с	4 мА	5,75 – 6,25	-40...+125	2011 г., вибростойкий
	ADXRS800	1	300°/с	по запросу	SPI (16 бит)	по запросу		3 – 5	-40...+105	2011 г., прецизионный
	ADXRS642	1	250°/с	0,02°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	7 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2011 г., вибростойкий
	ADXRS649	1	20 000°/с	0,25°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	0,1 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+125	2010 г., с быстрым стартом
	ADXRS453	1	300°/с	0,015°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI (16 бит)	80 LSB/°/с	6 мА	3 – 5,25	-40...+105	2011 г., прецизионный
	ASXRS450	1	300°/с	0,015°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI (16 бит)	80 LSB/°/с	6 мА	3 – 5,25	-40...+105	2011 г., прецизионный
	ADXRS652	1	250°/с	0,06°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	7 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	ADXRS624	1	50°/с	0,04°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	25 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	ADXRS623	1	150°/с	0,04°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	12,5 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	ADXRS622	1	250°/с	0,06°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	7 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2009 г.
	ADXRS620	1	300°/с	0,05°/с/ $\sqrt{Гц}$	аналоговый	6 мВ/°/с	3,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2010 г.
	Подсистемы акселерометров	ADIS16229	2	18 g	0,248 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI + ВЧ	0,3052 мг/LSB	2,5 мкА – 39 мА	3 – 3,6	-40...+85
ADIS16000		2	18 g	0,248 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI + ВЧ	0,3 – 0,6 мг/LSB	2,5 мкА – 39 мА	3 – 3,6	-40...+85	2013 г., вибродатчик с ВЧ-трансивером
ADIS16228		3	18 g	0,248 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,3 – 0,6 мг/LSB	40 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2011 г., с БПФ-анализом и памятью
ADIS16210		3	180°, 1,7 g	0,011°/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,1 – 0,21°/LSB	18 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2011 г., инклинометр
ADIS16227		3	70 g	3,3 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	1,192 – 2,384 мг/LSB	43 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2010 г., вибродатчики с БПФ и памятью
ADIS16223		2 или 1	70 g	3,3 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	4,76 мг/LSB	43 мА	3,15 – 3,6	-40...+125	2010 г., вибродатчик
ADIS16240		3	19 g	480 мкг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	51,4 мг/LSB	1 мА	2,4 – 3,6	-40...+85	2009 г., датчик ударов
ADIS16209		2	90° и 180°	0,19 мг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,025°/LSB	36 мА	3 – 3,6	-40...+125	2008 г., инклинометр
ADIS16203		1	360°	0,037°/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,025°/LSB	11 – 36 мА	3 – 3,6	-40...+125	2006 г., инклинометр
ADIS16201		2	70°, 1,7 g	22 LSB rms	SPI	0,1°/LSB	11 – 36 мА	3 – 3,6	-40...+125	2006 г., инклинометр
ADIS16006		2	5 g	200 мкг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	256 LSB/g	1,5 мА	3 – 5,25	-40...+125	2006 г.
ADIS16003	2	1,7 g	110 мкг/ $\sqrt{Гц}$	SPI	820 LSB/g	1,5 мА	3 – 5,25	-40...+125	2005 г.	
Подсистемы гироскопов	ADIS16137	1	1000°/с	0,00357°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	1/6300°/с/LSB	120 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2013 г., прецизионный
	ADIS16266	1	3500/7500/14 000°/с	0,44°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	1,04/2,08/4,17°/с/LSB	41 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2012 г.
	ADIS16136	1	450°/с	0,00357°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,07139°/с/LSB	120 мА	4,75 – 5,25	-40...+85	2011 г.
	ADIS16133	1	1200°/с	0,0122°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,05°/с/LSB	88 мА	4,85 – 5,15	-40...+105	2011 г.
	ADIS16135	1	300°/с	0,0122°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0122°/LSB	88 мА	4,75 – 5,25	-40...+85	2010 г., прецизионный
	ADIS16265	1	80/160/320°/с	0,044°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0183°/с/LSB	41 мА	4,75 – 5,25	-40...+85	2009 г., программируемый
	ADIS16260	1	80/160/320°/с	0,044°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0183°/с/LSB	41 мА	4,75 – 5,25	-40...+125	2009 г., программируемый
	ADIS16060	1	80°/с	0,04°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,0122°/с/LSB	6,5 мА	4,75 – 5,25	-40...+105	2008 г., широкополосный
	ADIS16080	1	80°/с	0,05°/с/ $\sqrt{Гц}$	SPI	0,098°/с/LSB	7 мА	4,75 – 5,25	-55...+125	2006 г.

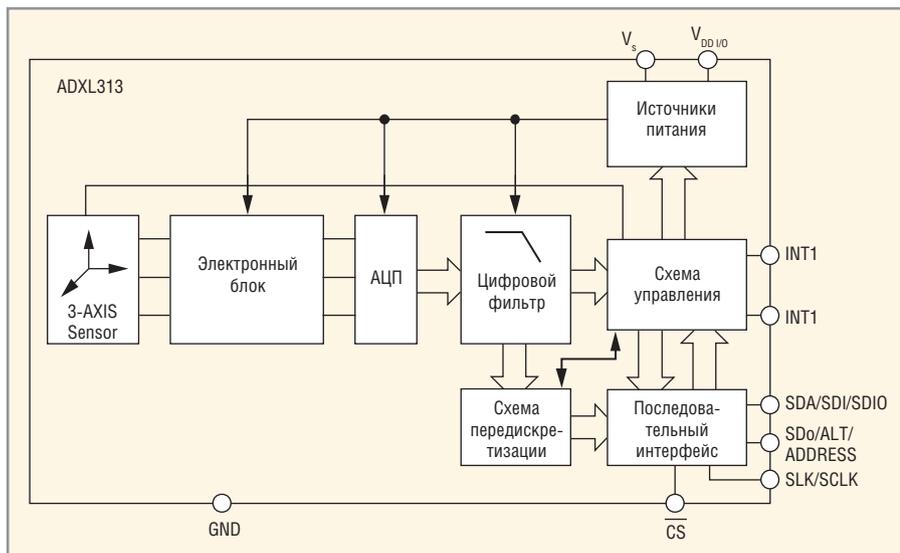


Рис. 14. Структура микросхемы ADXL313

единицах спектральной плотности шума – градус/секунда/ $\sqrt{\text{Гц}}$  ( $^{\circ}/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$ ).

- Тип выхода. Выходные сигналы аналоговых акселерометров и гироскопов обычно представлены в виде напряжения, зависящего от соответствующих измеряемых параметров. Выходные сигналы ШИМ акселерометров представляют собой последовательность импульсов, коэффициент заполнения которых зависит от величины измеряемого ускорения. Выходные сигналы цифровых приборов представляются обычно в виде вариантов (3 или 4 шины) интерфейса SPI с различной разрядностью. Некоторые приборы одновременно с SPI имеют интерфейсы I<sup>2</sup>C, а подсистемы акселерометров ADIS16000/16229 оснащены трансиверами для радиосвязи в диапазоне 902,5–927,5 МГц, приборы предназначены для организации беспроводных сетей датчиков ускорения.
- Чувствительность аналоговых акселерометров, представленных в таблице, имеет размерность мВ/г (некоторых приборов – %/г), аналоговых гироскопов – мВ/°/с. Чувствительность цифровых акселерометров в основном выражена в единицах LSB/g, однако она может определяться и параметром, называемым масштабным коэффициентом (Scale Factor), измеряемым в единицах mg/LSB, где LSB – единица младшего разряда выходного кода. Например, в техническом описании цифрового акселерометра ADXL363 приведены значения масштабного коэффициента и в единицах mg/LSB и LSB/g. Чувствительность цифровых гироско-

пов выражается в единицах LSB/°/с, цифровых инклинометров – °/LSB, цифровых подсистем гироскопов – °/с/LSB. Для ряда микросхем чувствительность выражена двумя числами (через дефис), что означает возможность её изменения в указанных пределах путём программирования.

- В графе «Примечания» указаны годы выпуска первых редакций технических описаний (спецификаций) приборов. БПФ – анализ на основе быстрого преобразования Фурье.

Рассмотрим особенности некоторых перспективных МЭМС приборов с расширенным диапазоном рабочих температур более подробно.

### АКСЕЛЕРОМЕТРЫ СЕРИИ ADXL

ADXL313 – трёхосевой цифровой акселерометр с интерфейсами SPI (3 и 4 шины) и I<sup>2</sup>C. Прибор в миниатюрном корпусе LFCSP размерами 5 × 5 × 5 мм отличается чрезвычайно низким токопотреблением – 30 мкА в режиме измерения и 0,1 мкА в режиме ожидания. Измерение ускорений осуществляется с высоким разрешением (13 бит), выходные данные представлены в 16-разрядном двоичном дополнительном коде. Микросхемы отличаются низким уровнем шума – 150 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$  по осям X и Y, 250 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$  по оси Z. Фиксированное разрешение 10 бит и чувствительность 1024 LSB/g для любого диапазона ускорений, ширина полосы пропускания могут быть установлены пользователем. Прибор также обеспечивает измерение углов наклона с точностью 0,1°, а в режиме передискретизации по запатентованной 32-уровневой техно-

логии FIFO (First in First out) – с точностью до 0,025°.

Структура и назначение выводов микросхемы приведены на рисунке 14. Основные области применения: системы автомобильной сигнализации, системы помощи водителю при трогании на подъёме (HSA – Hill Start Aid), системы электронных стояночных тормозов, рекордеры данных («чёрные ящики»). Микросхемы могут работать в диапазоне температур –40...+105°C, выдерживают удары с ускорением до 10 000 g, нечувствительны к электростатическим зарядам и коротким замыканиям любых выводов на корпус.

ADXL206 – двухосевой (X, Y) термостойкий акселерометр с гарантированной наработкой 1000 часов при температуре +175°C, выполненный в керамическом корпусе SBDIP размерами 13 × 8 × 3 мм. Прибор предназначен для ориентации систем геологоразведки, измерения вибраций, высокотемпературных промышленных приложений и обеспечивает разрешение 1 mg (0,06°) на частоте 60 Гц. Структура микросхемы приведена на рисунке 15. МЭМС-датчик ускорения выполнен по технологии iMEMS, полосы пропускания каналов X и Y определяются ёмкостью внешних конденсаторов C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub> и могут быть установлены в пределах 0,5 Гц – 2,5 кГц. При нулевом ускорении выходное напряжение каналов составляет 2,5 В ±0,025 В (при U<sub>пит</sub> = 5 В) и отличается высокой стабильностью, дрейф «нуля» в пересчёте на ускорение не превышает ±10 mg в диапазоне температур –40...+175°C.

ADXL001-xxx – одноосевые прецизионные аналоговые акселерометры с высокой резонансной частотой (22 кГц) МЭМС-датчика. Приборы выполнены по технологии iMEMS пятого поколения в керамических корпусах LCC/E-8-1 и выпускаются в трёх исполнениях с диапазоном ускорений ±70 g (ADXL001-70), ±250 g (ADXL001-250) и ±500 g (ADXL001-500). Структура микросхем приведена на рисунке 16. Приборы отличаются высокими эксплуатационными характеристиками и широкой полосой пропускания (от постоянного тока до 32 кГц). Отклонения от линейности переходной характеристики не превышает ±0,2% во всём диапазоне измеряемых ускорений. Полностью дифференциальная обработка сигналов обеспечивает эффективную защиту от электромагнитных излучений и радиочастотных помех. Микросхемы

выдерживают ускорения до 4000 g, диапазон рабочих температур составляет  $-55...+125^{\circ}\text{C}$ , что позволяет применять их в ответственных медицинских, промышленных и военных приложениях.

### Гироскопы серии ADXRS

ADXRS645 – термостойкий аналоговый гироскоп, структура которого представлена на рисунке 17, имеет гарантируемую наработку 1000 часов при температуре  $+175^{\circ}\text{C}$ . Вертикально ориентированный керамический корпус прибора позволяет измерять угловые скорости как в плоскости Pitch, так и Roll. Микросхемы выдерживают удары до 10 000 g и вибрации в широком диапазоне частот. Воздействие вибраций с уровнем до 25 g rms в диапазоне частот 50 Гц – 5 кГц вызывает выходной отклик не более  $0,0006^{\circ}/\text{c}/\text{g}$ , а линейные перемещения прибора по любым осям вызывают выходной отклик не более  $0,1^{\circ}/\text{c}/\text{g}$ . Основные области применения микросхемы: контроль направления при бурении отверстий в геологоразведке и промышленные измерения при экстремальных температурах. Поскольку вывод TEMP микросхемы подключён к внутреннему терморезистору ( $25\text{ кОм}$  при  $T = 25^{\circ}\text{C}$ ), его можно использовать для недопущения перегрева прибора, например при бурении скважин на большой глубине.

ADXRS646 – этот высокостабильный гироскоп выполнен по такой же схеме, как и предыдущий (см. рис. 17), однако корпус CBGA размерами  $7 \times 7\text{ мм}$  ориентирован горизонтально, что позволяет измерять угловые скорости в плоскости Yaw. Прибор обеспечивает подавление откликов, вызванных вибрацией (не более  $0,0001^{\circ}/\text{g}$ ) и линейными перемещениями ( $0,015^{\circ}/\text{c}$ ) с уровнем до 25 g в диапазоне 50 Гц – 5 кГц. За

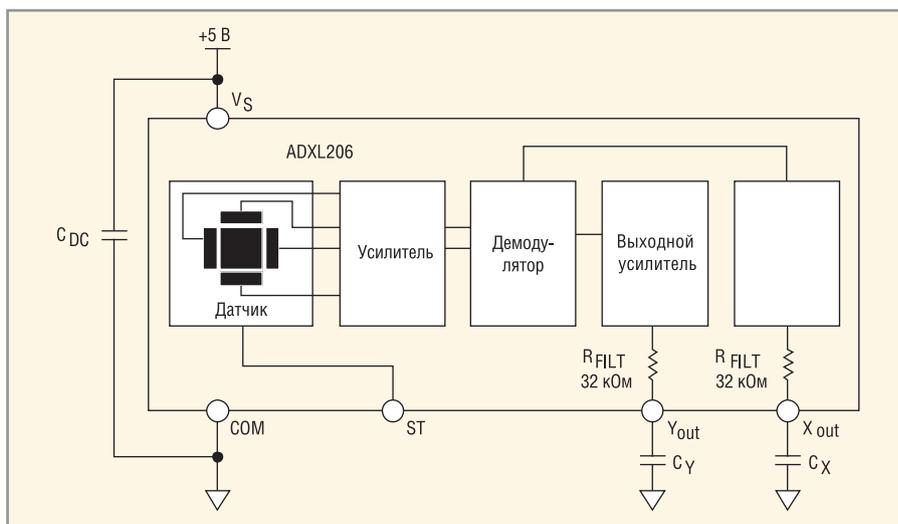


Рис. 15. Структура микросхемы ADXL206

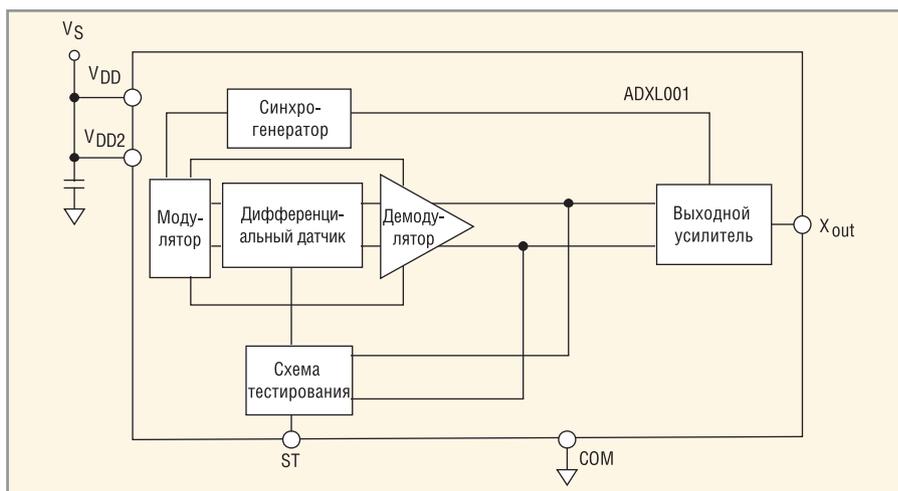


Рис. 16. Структура микросхемы ADXL001

исключением диапазона температур ( $-55...+125^{\circ}\text{C}$ ), показатели стойкости к воздействиям внешней среды такие же, как и у предыдущего прибора.

ADXRS649 – структура и назначение выводов микросхемы соответствуют показанным на рисунке 17, однако она также, как и предыдущая, выполнена в горизонтально ориентирован-

ном керамическом корпусе CBGA габаритами  $7 \times 7\text{ мм}$ , что обеспечивает измерение угловых скоростей в плоскости Yaw в диапазоне до  $\pm 50\,000^{\circ}/\text{c}$ . Прибор отличается быстрым запуском (не более 3 мс) и высокой стойкостью к вибрациям (параметры как у ADXRS645), показатели стойкости к воздействию внешней среды аналогичны показателям

## AUTEX Ltd.

- Поставка электронных компонентов ANALOG DEVICES Inc. и информационная поддержка проектов
- Проведение международной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применение - DSPA”
- Консультации по цифровой обработке сигналов, проектированию и программированию устройств на базе DSP



## AUTEX Ltd.

117997, Россия, г. Москва,  
ул. Профсоюзная, д.65  
Тел. +7(495)334-77-41  
Факс +7(495)334-91-51

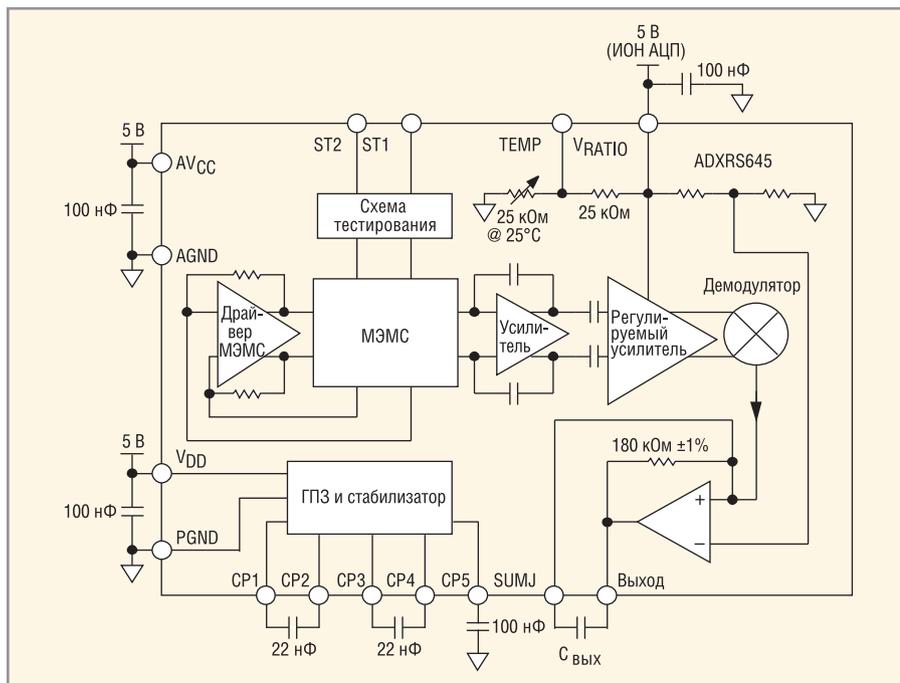


Рис. 17. Структура микросхемы ADXR645

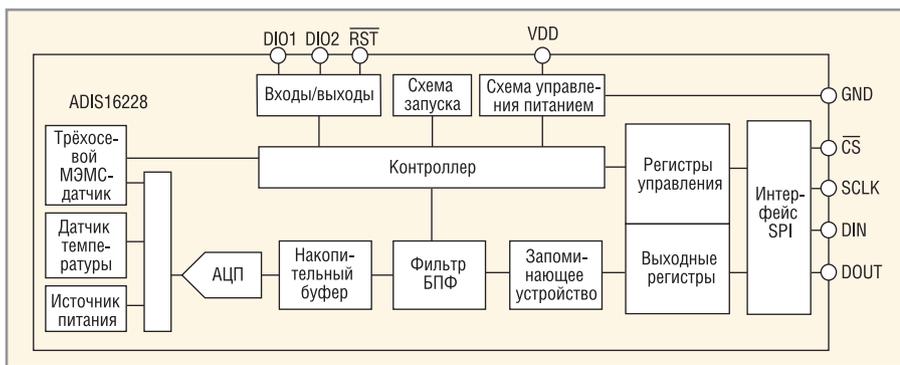


Рис. 18. Структура подсистемы ADIS16228

ADXR646. Небольшой потребляемый ток микросхемы (3 мА) в сочетании с быстрым запуском обеспечивает длительную работу микросхемы при питании от батарей, например, при питании от двух элементов CR2032 микросхема может работать три месяца.

Во всех рассмотренных выше гироскопах используются встроенные источники питания с поддержкой «виртуального нуля», равного половине напряжения питания. То есть при изменении напряжения питания пропорционально изменяется выходное напряжение, соответствующее нулевому ускорению. Внутренний стабилизатор напряжения выполнен по схеме с подкачкой заряда внешних конденсаторов, подключаемых к выводам CP1-CP5.

### ПОДСИСТЕМЫ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ СЕРИИ ADIS

В подсистемы акселерометров кроме МЭМС-датчиков ускорения и аналоговых схем обработки сигналов включе-

ны дополнительные цифровые устройства: АЦП, схемы интерфейсов, тактирующие схемы, память, цифровые сигнальные процессоры, микропроцессоры и другие цифровые устройства.

ADIS16228 – трёхосевой анализатор вибраций с обработкой в частотной области на основе БПФ (быстрое преобразование Фурье) и возможностью записи нескольких выборок. Структура прибора представлена на рисунке 18, внешний вид на плате – на рисунке 19 (габариты 24 × 15 × 15 мм без шлейфа). Прибор может с успехом использоваться в портативной виброизмерительной аппаратуре, предназначенной, например, для диагностики и мониторинга подшипников качения, зубчатых передач, гидроагрегатов ГЭС, систем конвейеров на горных разработках и на многих других объектах, подвергающихся воздействию вибраций. На рисунке 20 приведена блок-схема системы непрерывного мониторинга круто-наклонного конвейера КНК-270, установленно-

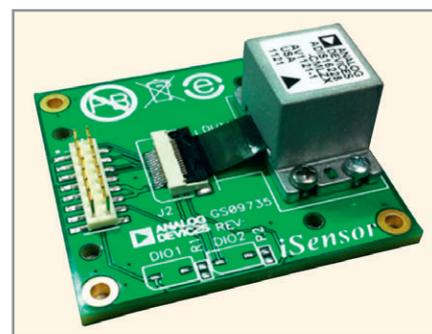


Рис. 19. Подсистема ADIS16228

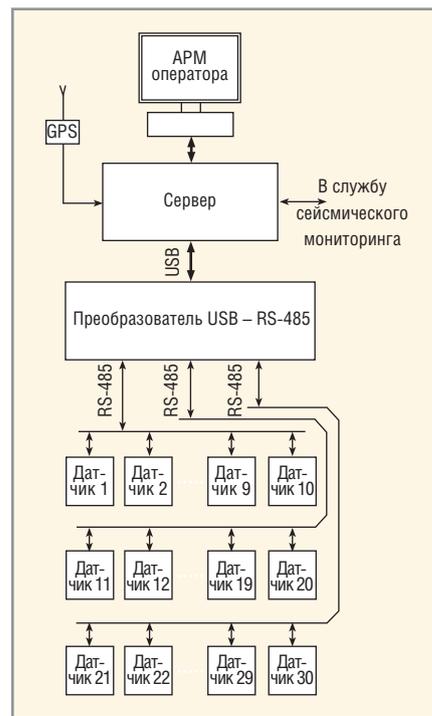


Рис. 20. Блок-схема системы КНК-270

го на карьере Мурунтау (Узбекистан), состоящая из аппаратно-программного комплекса для ЭВМ, который обрабатывает, создаёт и хранит базу данных сигналов от датчиков. В качестве датчиков в системе мониторинга использованы микросхемы ADIS16228, ADIS16229 и ADIS16000 [5].

Основные особенности и параметры прибора ADIS16228, не приведённые в таблице:

- равномерная частотная характеристика в диапазоне до 5 кГц;
- возможность записи выборок при заданных пользователем настройках;
- цифровая регулировка диапазона измерений;
- режим ручного захвата для сбора данных во временной области;
- режим внешнего запуска, управление по интерфейсу SPI, таймеру и запуск от внешнего сигнала;
- программируемый децимирующий фильтр с одиннадцатью настройками коэффициента децимации;

- потоковый режим реального времени со скоростью 20,48 kSPS по одной оси;
- режим захвата данных со скоростью 20,48 kSPS по всем осям;
- вещественный алгоритм БПФ, 512 точек по трём осям;
- различные варианты окна: прямоугольное, окно Ханнинга, с плоской вершиной;
- программируемое усреднение БПФ (до 256 усреднений);
- память на 14 выборок БПФ по трём осям.

ADIS16229 (см. рис. 21а), ADIS16000 (см. рис. 21б) – беспроводные МЭМС-системы измерения вибраций для удалённого контроля промышленного оборудования. В системы входят беспроводные узлы датчиков вибрации iSensor ADIS16229, в которые интегрированы двухосевые цифровые измерители ускорения на основе ёмкостных МЭМС, и схемы обработки сигналов в частотной и временной областях.

В качестве шлюза выступает беспроводной узел приёмника ADIS16000, обеспечивающий приём и обработку данных от удалённых узлов ADIS16229, которых может быть до шести единиц. Обмен данными осуществляется с помощью протокола беспроводной связи, разработанного ADI. Управление шлюзом производится через интерфейс SPI. Главным преимуществом разработанной компанией системы является непрерывность мониторинга удалённых станков, насосов, турбин, конвейеров, компрессоров, двигателей и другого промышленного оборудования. Это, в свою очередь, позволяет операторам сложных промышленных систем оперативно реагировать на нештатные ситуации и предотвращать поломки и аварийную остановку различных агрегатов и тем самым избежать связанных с ними больших затрат.

Радиообмен между датчиками и шлюзом осуществляется в нелицензируемом ISM-диапазоне 862–928 МГц (в России 864–865 МГц и 868,7–869,2 МГц). В отличие от анализатора вибраций ADIS16228, в рассматриваемом узле ADIS16229 используется двухосевой МЭМС-датчик ускорения. Остальные параметры и возможности по большей части такие же.

### Подсистемы гироскопов серии ADIS

ADIS16133 – прецизионный датчик скорости по углу рыскания, выпол-

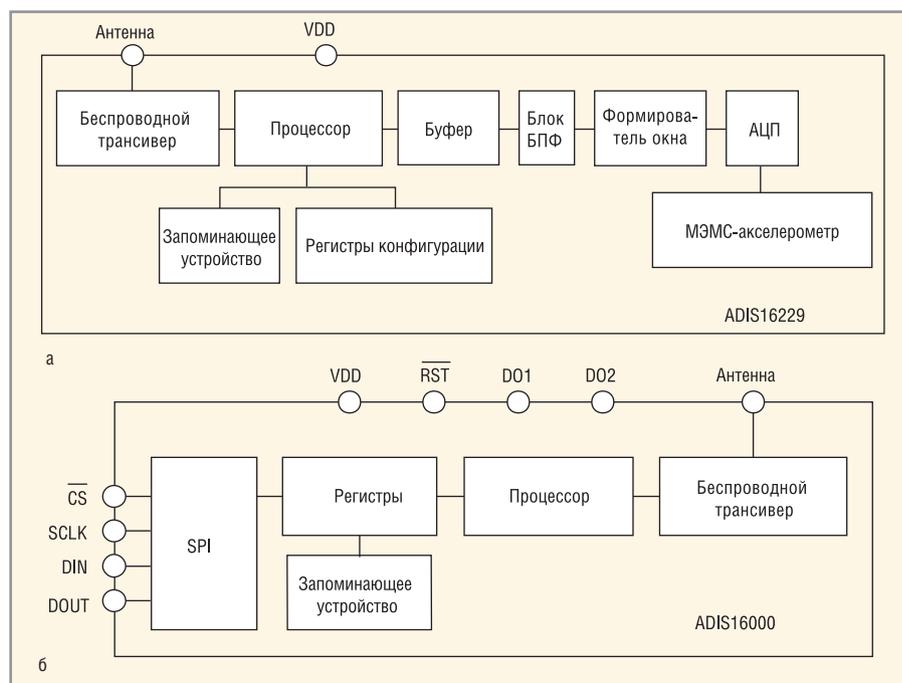


Рис. 21. Беспроводные МЭМС-системы измерения вибраций для удалённого контроля промышленного оборудования: а – структура подсистемы ADIS16229, б – структура шлюза ADIS16000

ненный в виде модуля размерами 44 × 35,6 × 13,8 мм. Прибор обеспечивает функционирование и сбор данных в автономном режиме и не требует внешних команд конфигурирования. Возможно автоматическое и ручное управление коррекцией смещения. Стабильность смещения в установленном состоянии составляет примерно 6°/час (11°/час в диапазоне температур –40...+85°С). Время запуска не превышает 180 мс, а время восстановления из режима сна – не более 4,7 мс. Модуль производит оцифровку данных с частотой 2048 отсчётов в секунду и имеет фильтр усреднения/децимации, применение которого позволяет оптимизировать соотношение между шириной полосы пропускания и уровнем шума. Последовательный периферийный интерфейс SPI и набор внутренних регистров упрощают доступ к настройкам конфигурации и откалиброванным измерениям датчика во встраиваемых процессорных платформах. Основные области применения: прецизионные измерения, стабилизация и управление платформами, навигация промышленных транспортных средств, измерения при бурении скважин, робототехника.

Аналогичную конструкцию и присоединительные размеры имеют и цифровые датчики угловой скорости ADIS16135, ADIS16136 и ADIS16137 (см. таблицу). Чувствительность и смещение всей цепочки обработки сиг-

нала рассматриваемых датчиков подвергаются заводской калибровке в диапазоне температур –40...+85°С. В результате каждый экземпляр модулей обладает собственными уникальными формулами коррекции, обеспечивающими высокую точность измерений после его установки в систему. Эта заводская калибровка позволяет полностью исключить процедуру системной калибровки в некоторых системах и значительно упростить её в остальных случаях.

Компания выпускает и более сложные измерительные системы на основе МЭМС-датчиков, однако особенности их устройства и функционирования требуют отдельного рассмотрения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol27](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol27).
2. [www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol37](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol37).
3. [www.bulgari-istoria-2010.com](http://www.bulgari-istoria-2010.com).
4. 9K720 Искандер-SS-26 STONE. [www.bulgari-istoria-2010.com/booksBG/9K720%20ISKANDER.pdf](http://www.bulgari-istoria-2010.com/booksBG/9K720%20ISKANDER.pdf). С. 24.
5. [www.analog.com/ru/index.html](http://www.analog.com/ru/index.html).
6. Холикулов Э.Х., Султанов К.С., Исмаилов Х.М., Логинов П.В. Составляющие элементы системы мониторинга вибрации и колебаний КНК-270. Горный вестник Узбекистана. 2014. № 1. С. 62. [www.ngmk.uz/vestnik/vest\\_archive/2014/56.pdf](http://www.ngmk.uz/vestnik/vest_archive/2014/56.pdf).

# Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: система прерываний

Олег Вальпа (г. Миасс, Челябинская обл.)

В статье приведено описание системы прерываний 32-разрядных ARM-микроконтроллеров серии STM32 от компании STMicroelectronics. Рассмотрена архитектура и состав её регистров, а также приведены практические примеры программ

## ВВЕДЕНИЕ

Понятие прерывания (от англ. Interrupt) появилось в микропроцессорной технике давно и с течением времени прочно в ней укрепилось. Прерываниям в микроконтроллерах отведена особая роль. Они позволяют микроконтроллеру моментально реагировать на определённые события (от англ. Event), повышая тем самым его оперативность. Прерывание возникает в результате определённого ожидаемого события и временно прекращает выполнение основного кода программы, переходя к выполнению подпрограммы, которая находится в обработчике прерывания. После завершения этой подпрограммы продолжается выполнение основного кода программы.

Существует понятие внешних и внутренних прерываний. Внешнее прерывание инициируется внешним событием, например нажатием кнопки поль-

зователем или замыканием контактов датчика. Внутреннее прерывание обусловлено некоторым событием, связанным, например, с приёмом или передачей данных через интерфейс, завершением счёта таймера и тому подобным.

Различают аппаратное и программное прерывания. Аппаратное прерывание возникает в результате воздействия внешних сигналов или аппаратной установки регистровых флагов событий. Программное прерывание формируется с помощью кода программы путём программной установки флагов событий или непосредственного вызова подпрограммы обработки прерывания.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕРЫВАНИЙ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ STM32

В микроконтроллерах семейства STM32 [1] возможно возникновение множества событий, способных породить прерывание. Как правило, эти

события связаны с каким-либо блоком периферии. Например, если речь о таком блоке периферии, как USART, то в нём могут возникать такие события, как передача завершена, приём завершён, возникла ошибка чётности и тому подобные. Использование прерываний позволяет программе мгновенно реагировать на эти события.

В случае возникновения двух разных прерываний от одного блока периферии происходит одно и то же прерывание. Например, если возникает прерывание при приёме байта в USART и прерывание по завершению передачи через этот же блок USART, то в обоих случаях будет вызван один и тот же обработчик прерывания. Для того чтобы определить, какое из возможных прерываний произошло, необходимо проанализировать флаги состояния данного блока. Перед выходом из обработчика прерывания эти флаги следует сбросить. Когда обработчик прерывания отработает, управление будет передано той строке кода, во время выполнения которой наступило прерывание. То есть основная программа продолжит работу с места прерывания.

В микроконтроллерах STM32 имеется возможность независимо разрешать и запрещать прерывания, назначать им приоритет и, при необходимости, вызывать прерывания программно.

Если для возникшего прерывания в программе нет обработчика, то будет вызван системный обработчик по умолчанию.

Наличие механизма приоритетности прерываний позволяет выполнять их обработку в соответствии со значимостью. Более приоритетное прерывание в микроконтроллерах STM32 имеет меньший номер. Например, если возникнет прерывание с приоритетом 7, управление программы будет передано его обработчику. Если в процессе выполнения кода обработчика возникнет новое прерывание с приоритетом меньше 7, то исполнение текущего обработчика прервётся, и управление будет передано обработчику более высокоприоритетного прерывания.

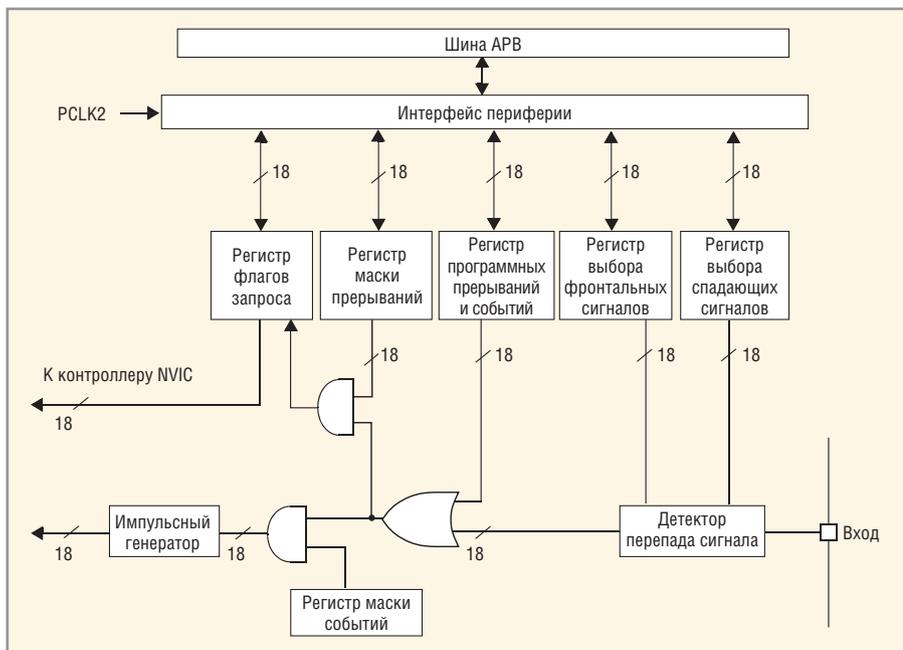


Рис. 1. Структурная схема блока прерываний

Для управления прерываниями в микроконтроллерах семейства STM32 существует специальный блок с названием NVIC, который представляет собой контроллер вложенных векторных прерываний (от англ. Nested Vectored Interrupt Controller, NVIC).

Контроллер NVIC поддерживает вложенность прерываний и их приоритетность. Каждому прерыванию при настройке NVIC присваивается свой приоритет. Если во время обработки низкоприоритетного прерывания возникает высокоприоритетное, то оно, в свою очередь, прервёт обработчик низкоприоритетного прерывания.

В зависимости от семейства микроконтроллера STM32 он может осуществлять обслуживание до 68 источников прерываний и выполняет следующие функции:

- разрешение и запрет прерывания;
- назначение и изменение приоритета прерывания от максимального приоритета 0 до минимального приоритета 15;
- автоматическое сохранение данных при выполнении одиночного или вложенного прерывания.

В библиотечном файле stm32f10x.h [1] содержится список всех прерываний для микроконтроллеров STM32 с указанием их приоритетности и адреса вектора подпрограммы обработки.

**Функциональное описание**

Как видно из структурной схемы, приведённой на рисунке 1, блок прерываний состоит из множества регистров конфигурации и логики формирования сигнала прерывания для 18 источников. В качестве этих источников прерываний могут выступать 16 линий GPIO, линия программируемого детектора напряжения PVD и линия тревоги часов реального времени RTC.

Для включения механизма прерываний линия прерывания должна быть сконфигурирована и разрешена. Это

выполняется программированием двух регистров запуска, где выбирается нужный перепад сигнала прерывания, и разрешением прерывания путём записи 1 в соответствующий бит регистра маскирования прерывания. Когда произойдёт выбранный перепад на линии внешнего прерывания, генерируется запрос на прерывание. Аналогично устанавливается флаг запроса от соответствующей линии прерывания. Данный флаг запроса можно сбросить записью 1 в регистр сброса прерывания.

Запрос прерывания можно также сгенерировать программно записью 1 в регистр программного прерывания.

Подключение любой из линий GPIO к 16 линиям внешних прерываний от EXTI0 до EXTI15 осуществляется в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 2.

**Описание регистров**

Карта размещения регистров блока прерываний в пространстве памяти представлена в таблице 1. На карте также показано значение регистров после сброса.

Все эти регистры являются 32-разрядными, но в каждом из них используются только младшие 18 разрядов. Остальные разряды зарезервированы.

Регистр маскирования прерываний EXTI\_IMR позволяет наложить битовую маску для внешних входов, разрешающую или запрещающую формирование прерываний от соответствующей внешней линии, а значение 1 разрешает этот запрос.

Регистр маскирования событий EXTI\_EMR позволяет выполнять операции маскирования для событий аналогично регистру EXTI\_IMR.

Регистр EXTI\_RTZR осуществляет задание линий, запускающихся по фронту сигнала.

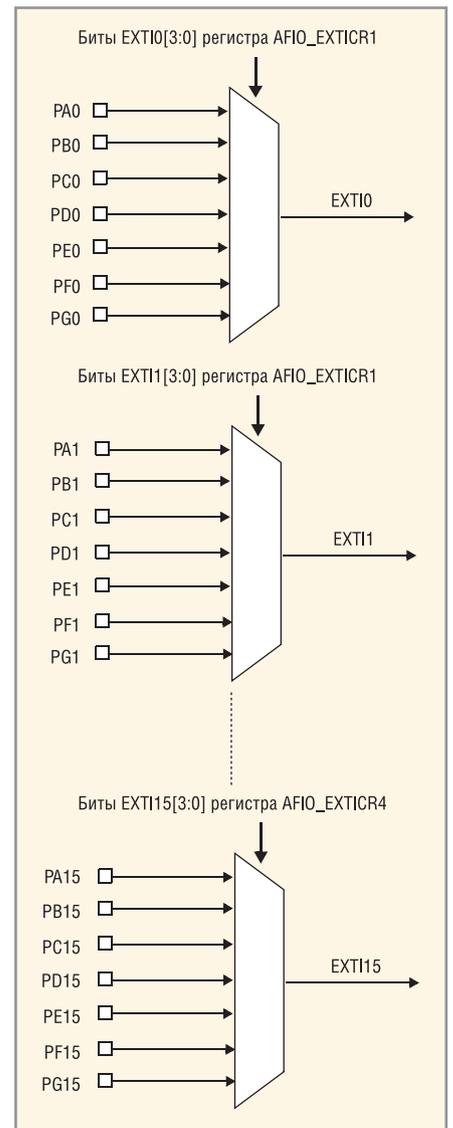


Рис. 2. Схема подключения к линиям прерываний

Регистр EXTI\_FTSR позволяет задать линии, запускающиеся по срезу сигнала.

Регистр программных прерываний и событий EXTI\_SWIER даёт возможность сформировать программное прерывание или событие. Запись 1 в биты этого регистра, имеющие нулевое значение, установит соответствующий флаг запроса в регистре EXTI\_PR. Если разрешено прерывание от этой линии в регистрах EXTI\_IMR и EXTI\_EMR, то

Табл. 1. Карта регистров блока прерываний

Сдвиг	Регистр	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0															
0x00	EXTI_IMR	Резерв															MR[17:0]																															
	Исх. значение																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0x04	EXTI_EMR	Резерв															EMR[17:0]																															
	Исх. значение																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x08	EXTI_RTZR	Резерв															RTZR[17:0]																															
	Исх. значение																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	EXTI_FTSR	Резерв															FTSR[17:0]																															
	Исх. значение																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x10	EXTI_SWIER	Резерв															SWIER[17:0]																															
	Исх. значение																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x14	EXTI_PR	Резерв															PR[17:0]																															
	Исх. значение																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

будет сгенерирован запрос на прерывание.

Регистр флагов запроса EXTI\_PR позволяет определить источник формирования запроса на прерывание. Биты этого регистра устанавливаются,

когда на внешней линии прерывания произошло заданное условие запуска.

Для настройки выводов портов, подключаемых к линии внешних прерываний EXTI, используются регистры альтернативных функций ввода-вывода

AFIO\_EXTICR1...AFIO\_SEXTICR4. Организация этих регистров представлена в таблице 2.

С их помощью можно назначить произвольный вывод «x» любого порта, как вход прерывания от 0 до 15, путём записи в соответствующую группу разрядов EXTIx. Эти разряды принадлежат регистрам AFIO\_EXTICR1...AFIO\_EXTICR4 и могут принимать следующие двоичные значения: 0000 для порта PAx, 0001 для PBx, 0010 для PCx и так далее до 0111 для PGx.

Например:

```
AFIO->EXTICR[0] |= 0x0000; //
Подключить EXTI0 к PA0
AFIO->EXTICR[0] |= 0x0001; //
Подключить EXTI0 к PB0
AFIO->EXTICR[4] |= 0x1000; //
Подключить EXTI15 к PA0
```

**ПРИМЕР ПРОГРАММЫ**

В листинге приведён пример программного кода, который будет обрабатывать прерывание, возникающее при нажатии на кнопку, и при этом инвертировать состояние индикатора. В программе предполагается, что кнопка подключена к порту PA0, а индикатор – к порту PC3.

Из этой программы видно, что операции по анализу состояния кнопки и изменению состояния индикатора возложены на прерывания. Поэтому данные процедуры будут выполняться автоматически, как в параллельном потоке для основного кода программы. Это наглядный пример одной из реализаций так называемой многозадачности систем.

В бесконечном цикле программы можно разместить код, предназначенный для выполнения других необходимых задач.

Подробнее познакомиться с системой прерываний поможет первоисточник [2].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. www.st.com.
2. www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference\_manual/CD00246267.pdf.

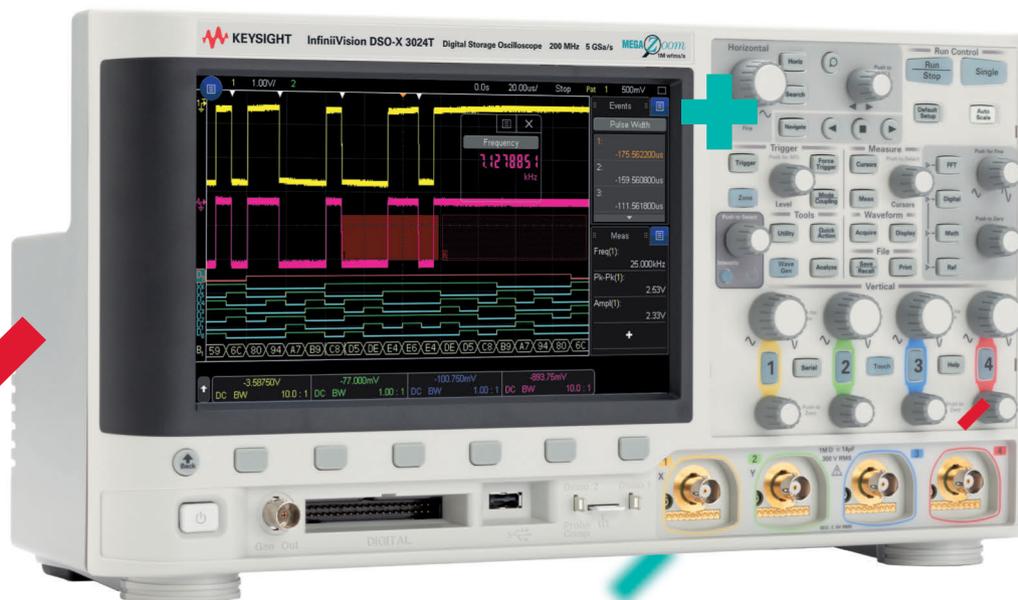


```
Листинг
// Подключение библиотечных функций
#include <stm32f10x.h>
#include <stm32f10x_rcc.h>
#include <stm32f10x_gpio.h>
// Подпрограмма инициализации кнопки
void init_key()
{
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2Periph_GPIOA; // Включить тактирование порта PA
GPIOA->CRL &= ~GPIO_CRL_MODE0; // Обнулить разряды MODE
GPIOA->CRL &= ~GPIO_CRL_CNF0; // Обнулить разряды CNF
GPIOA->CRL |= GPIO_CRL_CNF0_1; // Вывод как дискретный вход
GPIOA->BSRR = GPIO_BSRR_BS0; // Включить подтягивающий резистор
AFIO->EXTICR[1] = AFIO_EXTICR1_EXTIO_PA; // Подключить вход EXTI
EXTI->FTSR |= EXTI_FTSR_TR0;
EXTI->IMR |= EXTI_IMR_MR0;
NVIC_EnableIRQ (EXTIO_IRQn); // Разрешить прерывание
}
// Подпрограмма инициализации индикатора
void init_led()
{
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2Periph_GPIOC; // Включить тактирование порта PC
GPIOC->CRL &= ~GPIO_CRL_MODE3; // Обнулить разряды MODE
GPIOC->CRL &= ~GPIO_CRL_CNF3; // Обнулить разряды CNF
GPIOC->CRL |= GPIO_CRL_MODE3_1; // Подать тактирование 2 МГц
GPIOC->CRL &= ~GPIO_CRL_CNF3; // Выход общего назначения симметричный
}
// Обработчик прерывания
void EXTI0_IRQHandler(void)
{
if(EXTI->PR & (1<<0)) // Проверить прерывание от EXTI0
{
GPIOC->ODR = GPIOC->ODR ^ (1<<3); // Изменить состояние индикатора
EXTI->PR |= EXTI_PR_PR1; // Сбросить флаг прерывания
}
}
// Главный модуль программы
int main(void)
{
init_key();
init_led();
GPIOC->ODR = GPIO_ODR_ODR8;
__enable_irq();
while(1) // Бесконечный цикл
{
// Место для других операторов программы
}
}
```

Табл. 2. Карта регистров AFIO\_EXTICRx

Сдвиг	Регистр	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
0x08	AFIO_EXTICR1	Резерв																EXTI3[3:0]			EXTI2[3:0]			EXTI1[3:0]			EXTI0[3:0]									
	Исх. значение	0																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x0C	AFIO_EXTICR2	Резерв																EXTI7[3:0]			EXTI6[3:0]			EXTI5[3:0]			EXTI4[3:0]									
	Исх. значение	0																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x10	AFIO_EXTICR3	Резерв																EXTI11[3:0]			EXTI10[3:0]			EXTI9[3:0]			EXTI8[3:0]									
	Исх. значение	0																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0x14	AFIO_EXTICR4	Резерв																EXTI15[3:0]			EXTI14[3:0]			EXTI13[3:0]			EXTI12[3:0]									
	Исх. значение	0																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# ДИПОЛЬ



## Новые осциллографы Keysight Technologies InfiniiVision 3000T серии X

Производительность старших серий осциллографов теперь доступна в сегменте среднего класса!

Революционная технология сенсорного запуска InfiniiScan Zone Trigger, емкостный сенсорный экран, специально разработанный пользовательский интерфейс, функциональность нескольких приборов в одном – и все это в сочетании с бескомпромиссной скоростью обновления более 1 млн. осциллограмм в секунду.

- Функциональность «6 приборов в 1»: осциллограф, частотомер, вольтметр, генератор, логический анализатор и анализатор протоколов
- Полоса пропускания до 1 ГГц
- Скорость обновления осциллограмм на экране – 1 млн. осцилл./с
- Аппаратное декодирование протоколов и тестирование по маске
- Расширенный математический анализ в базовой конфигурации, 38 автоматических измерений

Реклама



## Инновационные решения для электронной промышленности

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru) / [info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru)

# Двухканальная аналоговая ИС с программируемыми параметрами

Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов (г. Минск, Беларусь), Николай Прокопенко (г. Шахты, Россия)

На базовом матричном кристалле АБМК-1.3 создана аналоговая микросхема МН1ХА062, содержащая канал с головными биполярными транзисторами и канал с головными полевыми транзисторами с р-п-переходом. Различное соединение выводов ИС и подключение внешних РС-элементов позволяет реализовать несколько аналоговых устройств с программируемыми коэффициентом преобразования входного сигнала, полосой пропускания, скоростью нарастания и током потребления. Приводятся схемные решения отдельных каскадов микросхемы и результаты измерений.

## ВВЕДЕНИЕ

Для применения в высококачественных оптикоэлектронных устройствах на комплементарных биполярных транзисторах (БТ) создана конфигурируемая аналоговая микросхема МН2ХА060, которая характеризуется высоким усилением (75 дБ) и полосой пропускания более 19 МГц при 20-кратном усилении.

Из-за существующего технологического разброса параметров БТ входной ток МН2ХА060 превышает 2 мкА даже при наличии схемы компенсации, что недопустимо при работе с высокоимпедансными источниками сигналов. Поэтому дополнительно разработана двухканальная аналоговая микросхема с программируемыми параметрами МН1ХА062, в которой один из каналов с головными полевыми транзисторами с р-п-переходом (ПТП) обеспечи-

вает низкий входной ток. Микросхема МН1ХА062 изготовлена в ОАО «Интеграл» на базовом матричном кристалле АБМК-1.3 [1].

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Блок-схема и типовая схема включения МН1ХА062 показаны на рисунке 1. Особенности схемотехники блоков обусловлены тем, что базовый кристалл АБМК-1.3, на котором реализована микросхема, содержит горизонтальные р-п-р-транзисторы с низким коэффициентом передачи тока в схеме с общим эмиттером (β), сильно спадающим в области больших токов, и допускает применение ПТП с каналом р-типа (р-ПТП). Канал МН1ХА062Б включает: блок смещения BIAS с двумя идентичными выходами REF1 и REF2, два одинаковых преобразователя вход-

ного напряжения в ток V-I и выходной каскад Output Stage.

- Блок смещения (см. рис. 2) состоит из:
- каскодных токовых зеркал, в которых вход одного (база Q110 и Q126) соединён с выходом другого (коллектор Q125 и Q111);
  - цепей запуска Q85, Q86 и R56;
  - токозадающих цепей Q165, Q168, R59 и Q166, Q169, R60.

Площадь эмиттерного перехода транзистора Q137 в четыре раза больше, чем Q138 (на рисунке 2 для этих транзисторов приведён масштабирующий коэффициент AREA), и в эмиттерную цепь Q137 включён резистор R58, что обеспечивает формирование тока  $I_{PTAT}$ , прямо пропорционального абсолютной температуре (PTAT – Proportional to Absolute Temperature):

$$I_{PTAT} = I_{R58} \approx \frac{\Phi_T}{R_{58}} \ln \frac{S_{E137}}{S_{E138}} = \frac{\Phi_T}{R_{58}} \ln 4 \approx 340 \text{ мкА}, \quad (1)$$

где  $S_E$  – площадь эмиттерного перехода,  $\Phi_T$  – температурный потенциал, равный примерно 26 мВ при 27°C.

При схемотехническом моделировании, учитывающем реальные значения β, температурные измерения параметров транзисторов и резисторов, а также напряжение Эрли, ток  $I_{PTAT}$  составил 325 мкА при 27°C, а эмиттерный ток транзисторов Q168 и Q169 –  $I_{E168} = I_{E169} = 317 \text{ мкА}$ .

Эмиттерный ток токозадающих транзисторов всех блоков ( $I_{E170}$  на рисунке 3) при соединении их узлов REF с одноимёнными узлами блока BIAS приблизительно равен 317 мкА, но может быть уменьшен при подключении резистора между выводом B1 (B2) и шиной отрицательного напряжения питания  $V_{EE}$ . Следует отметить, что ток  $I_{PTAT}$  и, следовательно, эмиттерные токи токозадающих транзисторов всех блоков малочувствительны к изменению напряжения питания.

В схеме преобразователя входного напряжения в ток (см. рис. 3) использованы известные технические решения [2, 3]. От предыдущих разработок [4] схема отличается, главным образом,

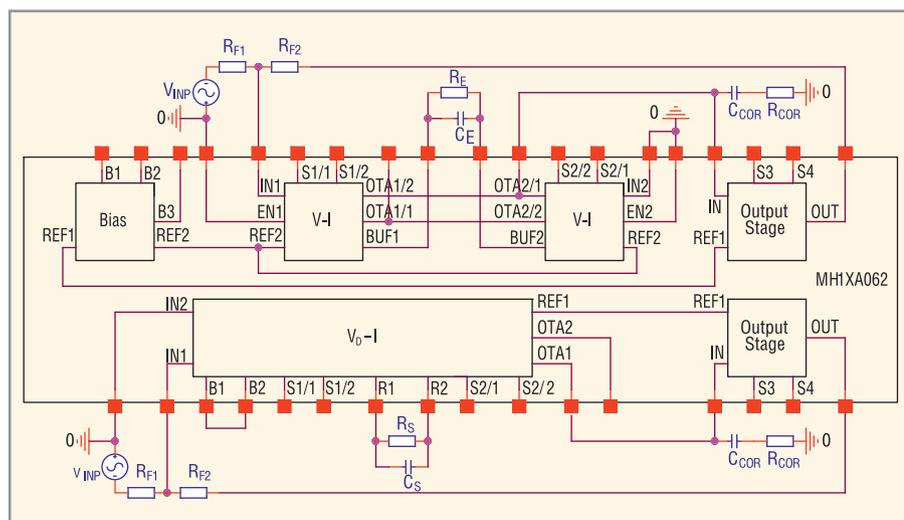


Рис. 1. Блок-схема микросхемы МН1ХА062 и типовая схема её включения

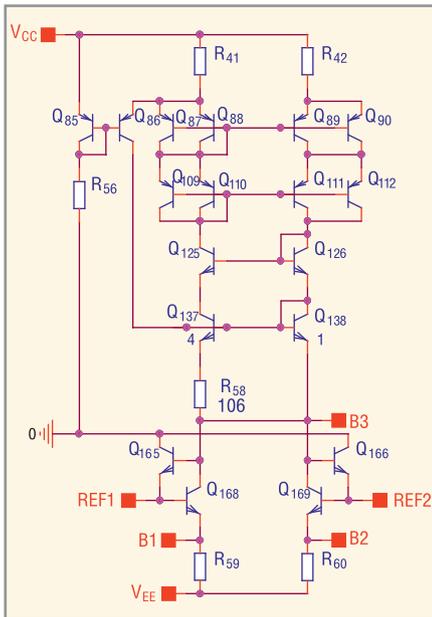


Рис. 2. Принципиальная схема блока смещения BIAS микросхемы MN1XA062

модернизированной цепью следящей обратной связи, в которой применён составной транзистор [5].

Вход IN1 соединён с параллельно включёнными эмиттерными повторителями на p-n-p и n-p-n-транзисторах (Q139, Q140). Выходы повторителей (эмиттеры Q139, Q140) соединены с базами транзисторов противоположного типа проводимости (Q128, Q153). Эмиттеры последних соединены с узлом BUF1. Коллектор транзистора Q128 соединён с входом токового зеркала.

Ввиду малой величины  $\beta$  и напряжения Эрли p-n-p-транзисторов в преобразователе V-I:

- исключён «съём» сигнала с коллектора p-n-p-транзистора Q153 (см. рис. 3), так как его коллекторный ток существенно отличается от эмиттерного. Для обеспечения втекающего выходного тока в преобразователе V-I выполняется инвертирование токовым зеркалом Q159, Q182, Q183 направления коллекторного тока n-p-n-транзистора Q128;
- токовые зеркала на p-n-p-транзисторах выполнены по модифицированным схемам (см. рис. 4), обеспечивающим стабильный коэффициент передачи, не зависящий от  $\beta$ ;
- введён каскод на составном транзисторе Q129, Q133.

Транзисторы Q127 и Q152 являются элементами следящей обратной связи, поддерживающей нулевое напряжение на коллекторных переходах входных транзисторов Q140 и Q139, что позволяет:

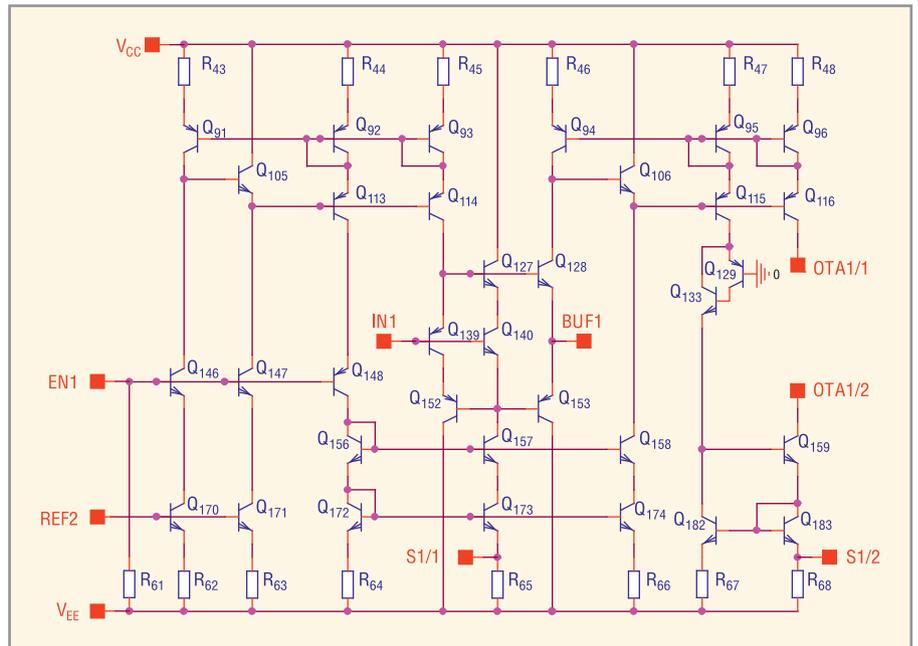


Рис. 3. Принципиальная схема преобразователя напряжение-ток MN1XA062B

- уменьшить входную ёмкость;
- устранить зависимость  $\beta$  входных транзисторов от напряжения на коллекторном переходе и, таким образом, увеличить входное сопротивление.

При «плавающем» узле EN1 усилитель находится в «спящем» режиме, а при подаче на узел EN1 нулевого потенциала переходит в рабочий режим.

Выходной каскод обоих каналов (MN1XA062B, MN1XA062П) выполнен по ранее апробированной схеме (см. рис. 5) [1].

Необходимость применения в канале микросхемы MN1XA062П входных p-ПТП привела к значительной переработке структуры и схемы канала, а именно:

- отпала потребность в использовании РТАТ-источников тока, так как минимальное температурное изменение параметров p-ПТП достигается при оптимальном токе стока, определяемом размерами p-ПТП и технологией его изготовления [6];

# ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ:

ISO 9001 - 2009

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ И ПРОДУКЦИИ

**МНИПИ**  
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
<http://www.mnipi.com>  
e-mail: [mnipi@mnipi.by](mailto:mnipi@mnipi.by)  
г. Минск, ул. Я. Коласа, 73  
тел./факс: +37517-262-57-50

ВСЯ ПРОДУКЦИЯ СЕРТИФИЦИРОВАНА

- ПРОБНЫЕ УСТАНОВКИ
- ИЗМЕРИТЕЛИ RLC
- БЛОКИ ПИТАНИЯ
- ОСЦИЛЛОГРАФЫ
- МЕГАОММЕТРЫ
- ЧАСТОТОМЕРЫ
- КАЛИБРАТОРЫ
- СВЧ-ТЕХНИКА
- ВОЛЬТМЕТРЫ
- ГЕНЕРАТОРЫ

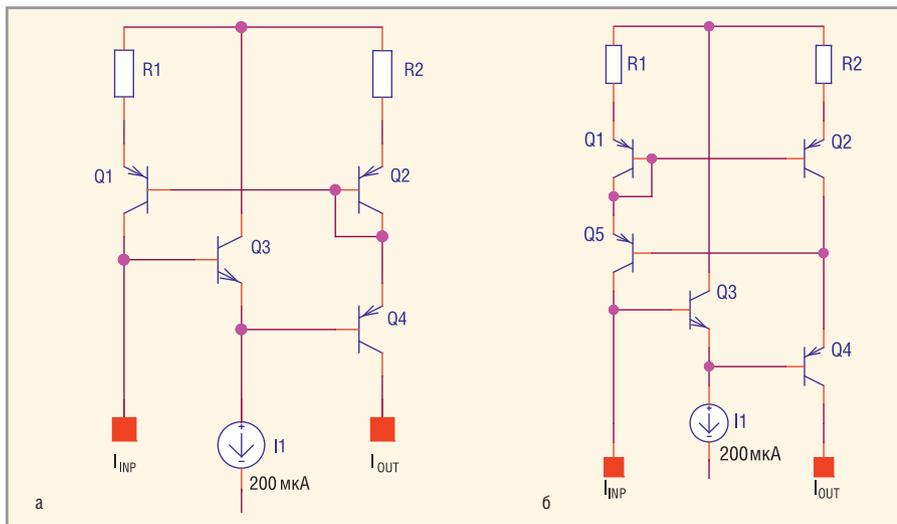


Рис. 4. Модифицированные токовые зеркала на р-р-транзисторах: а – каскодное; б – каскодное с повышенной точностью коэффициента передачи

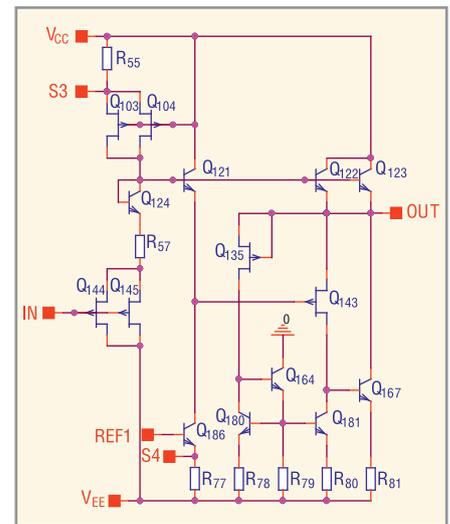


Рис. 5. Принципиальная схема выходного каскада Output Stage микросхемы MN1XA062

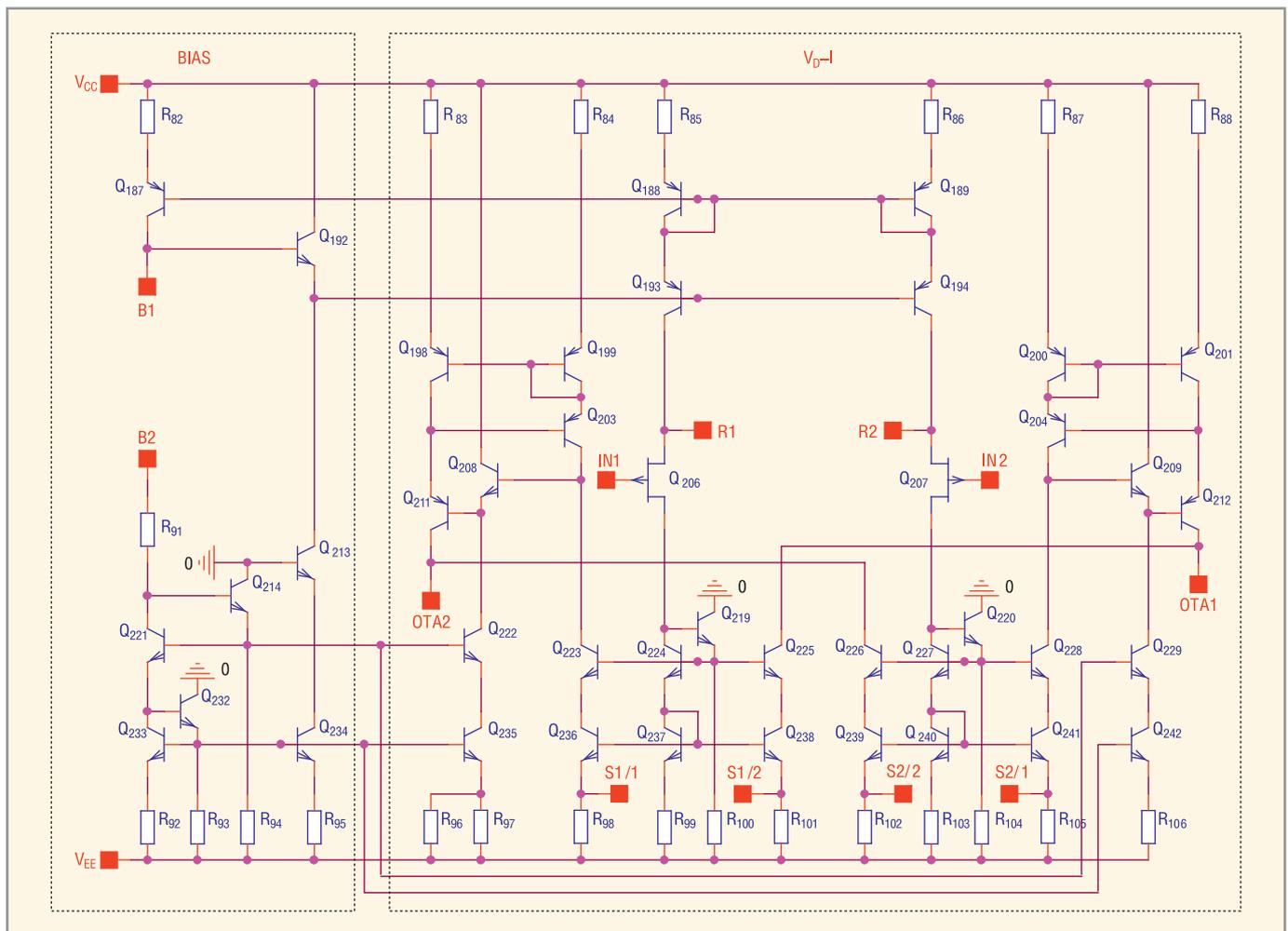


Рис. 6. Принципиальная схема блока смещения и преобразователя дифференциального напряжения в ток  $V_D-I$  микросхемы MN1XA062P

● существенно упростилась схема блока смещения, а два преобразователя напряжения в ток были заменены одним преобразователем дифференциального напряжения в ток ( $V_D-I$ ) (см. рис. 6).  
 При выполнении различных соединений выводов на MN1XA062Б можно реализовать:

- 1) повторители напряжения с высокой нагрузочной способностью (на блоках Output Stage);
- 2) операционный усилитель (ОУ) по схеме включения, показанной на рисунке 1;
- 3) преобразователь входного дифференциального напряжения в биполярный выходной ток (Operational

Transconductance Amplifier, OTA) с коэффициентом преобразования

$$K_{VI} = \frac{I_{OUT}}{V_{INP}} \approx \frac{1}{\frac{\Phi_T}{I_{PTAT}} + R_E} \quad (2)$$

где  $I_{OUT}$  – выходной ток (через узел OTA2/1 на рисунке 1),  $V_{INP}$  – входное напряжение,  $R_E$  – сопротивление рези-

сторона на рисунке 1. При малой величине сопротивления  $R_E$  коэффициент преобразования такого устройства не зависит от температуры;

4) аналоговый ключ при включении ОУ с резисторами обратной связи в виде повторителя или усилителя напряжения и подаче сигнала включения/выключения на узел EN.

Микросхема МН1ХА062П обеспечивает работу только в режиме ОУ и преобразователя входного дифференциального напряжения в биполярный выходной ток.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Измерения параметров микросхемы выполнялись с помощью комплекта оборудования, включающего: цифровой осциллограф Infiniium HP 54830B, выносной пробник 10073C, генератор сигналов произвольной формы Agilent 33250A, двухканальный источник питания Agilent E3646, интерфейсный модуль USB – GPIB Agilent 82357B, систему сбора данных Agilent 34970A с набором управляющих модулей и персональный компьютер.

Оборудование было объединено в систему с помощью шины GPIB. Управление осуществлялось посредством разработанного в среде Agilent VEE специализированного программного обеспечения для автоматизированного измерения характеристик ИС.

Амплитудные параметры сигналов определялись с точностью не ниже 0,5 мВ, что обеспечивалось автоматизированной калибровкой тракта вертикального отклонения осциллографа, статистической обработкой и цифровой фильтрацией результатов измерений. Большинство измерений проводилось в автоматическом режиме. Результаты измерений записывались в текстовый файл, дальнейшая обработка которого производилась в среде MS Excel с помощью стандартных средств и специализированных макросов.

Результаты измерений основных параметров ИС МН1ХА062 приведены в таблице и на рисунках 7 и 8.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана конфигурируемая аналоговая ИС МН1ХА062 для оптикоэлектронных устройств, содержащая канал с головными БТ (МН1ХА062Б) и канал с головными р-ПТП (МН1ХА062П). Различное соединение выводов ИС позволяет реализовать на её основе:

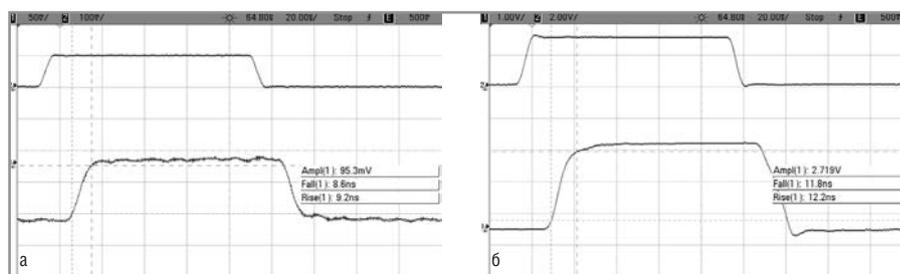


Рис. 7. Сигнал на входе и выходе выходного каскада МН1ХА062 при сопротивлении нагрузки  $R_L = 2 \text{ кОм}$  и ёмкости нагрузки  $C_L \approx 12 \text{ пФ}$  при амплитуде входного импульса:

а –  $V_{\text{АН}} = 100 \text{ мВ}$  (горизонтальная развёртка 20 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 50 мВ/дел, канал 2 – 100 мВ/дел); б –  $V_{\text{АН}} = 3 \text{ В}$  (горизонтальная развёртка 20 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 1 В/дел, канал 2 – 2 В/дел)

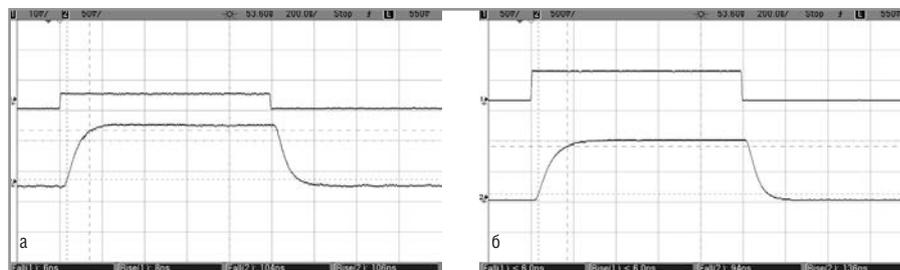


Рис. 8. Сигнал на входе и выходе МН1ХА062Б, включённой по схеме неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления  $K_U = 20 \text{ В/В}$  при амплитуде выходного импульса:

а –  $V_{\text{АУТ}} = 100 \text{ мВ}$  (горизонтальная развёртка 200 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 10 мВ/дел, канал 2 – 50 мВ/дел); б –  $V_{\text{АУТ}} = 1 \text{ В}$  (горизонтальная развёртка 200 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 50 мВ/дел, канал 2 – 500 мВ/дел)

- повторители напряжения с высокой нагрузочной способностью, ОУ, преобразователь напряжения в ток (на основе МН1ХА062Б, МН1ХА062П);
- аналоговый ключ (МН1ХА062Б).

Полоса пропускания по уровню –3 дБ при усилении 20 В/В составляет 3,3 МГц для МН1ХА062Б и 1,4 МГц для МН1ХА062П.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопенко, Н.Н. и др. Элементная база радиационно-стойких информационно-измерительных систем. Шахты. ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2011.
2. Moraveji, F. A Wide-Band, Low-Power, High Slew Rate Voltage-Feedback Operational Amplifier. IEEE Journal of Solid-State Circuits. V.SC-31. 1996. №1. P. 10–16.
3. Moraveji, F. A Tiny, High-Speed, Wide-Band Voltage-Feedback Amplifier Stable with All Capacitive Load. IEEE Journal of Solid-State Circuits. V.SC-31. 1996. № 10. P. 1511–1516.
4. Дворников, О.В. и др. Конфигурируемые аналоговые блоки. Часть 2. Микросхемы на комплементарных биполярных транзисторах. Проблемы современной аналоговой микросхемотехники. Материалы X Международного научно-практического семинара. Часть 1. Шахты. ИСОИП ФГБОУ ВПО «ДГТУ». 2013. С. 230–237.
5. Дворников О.В., Прокопенко Н.Н., Бутырлагин Н.В. Составной транзистор. Патент РФ 2 519 563. Оpubл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
6. Достал И. Операционные усилители. Мир. 1982.



Результаты измерений основных параметров микросхемы МН1ХА062 при напряжении питания  $\pm 5 \text{ В}$  и температуре  $27^\circ\text{C}$

Наименование параметра	Наименование микросхемы	
	МН1ХА062Б	МН1ХА062П
Ток потребления на канал, мА	7,2	9,9
Входной ток, мкА	9,1	<0,0001
Напряжение смещения, мВ	1,28	2,964
Диапазон входного синфазного напряжения, В	–3,0...2,86	–2...5
Диапазон выходного напряжения, В	–2,58...2,9	–2,58...2,34
Коэффициент усиления при $R_E = 10 \text{ Ом}$ и сопротивлении нагрузки 1 кОм	5354	515
Полоса пропускания по уровню –3 дБ при $R_E = 10 \text{ Ом}$ и усилении 20 В/В, МГц	3,3	1,4
Скорость нарастания/спада выходного напряжения при $R_E = 10 \text{ Ом}$ и усилении 20 В/В, В/мкс	17,2/23,8	7,1/10,0

# Унифицированные полосовые LC-фильтры, выполненные по интегральной технологии

Денис Борейко, Татьяна Хроленко, Андрей Яковлев (г. Омск)

В статье рассмотрены вопросы реализации многослойных интегральных LC-фильтров на основе низкотемпературной керамики с унифицированными габаритными размерами. Приведены схемные решения, пригодные для реализации таких фильтров. Представлены графики амплитудно-частотных характеристик и конструкции разработанных фильтров.

Основными тенденциями развития компонентной базы, в том числе устройств частотной селекции сигналов, являются улучшение их электрических и эксплуатационных параметров, повышение технологичности и унификации габаритных размеров. Поэтому и в нашей стране, и за рубежом всё большее распространение получают интегральные фильтры, выполненные по технологии низкотемпературной керамики (LTCC) на базе трёхмерных структур со встроенными компонентами, обладающими высокой избирательностью и надёжностью, а также малыми потерями в полосе пропускания и габаритами.

Подобные фильтры, как правило, находят применение в диапазоне частот свыше 1000 МГц. При этом, в зависимости от предъявляемых требований, встроенные элементы могут быть выполнены с сосредоточенными, квазисосредоточенными или распределёнными параметрами [1]. В наибольшей степени для унификации подходят интегральные фильтры на распределённых элементах, позволяющие за

счёт выбора типа резонаторов и связей между ними реализовывать в одних и тех же габаритных размерах миниатюрные устройства частотной селекции сигналов в широком диапазоне частот. Так, например, компаниями Mini Circuits, Murata, Syfer и некоторыми другими выпускаются выполненные по технологии LTCC интегральные фильтры на частоты до 8000 МГц с размерами  $3,2 \times 1,6 \times 1,0$  мм.

Интегральные фильтры на сосредоточенных элементах позволяют расширить нижнюю границу диапазона рабочих частот, избежать паразитных полос пропускания на кратных частотах и в ряде случаев упростить реализацию заданных частотных характеристик. Однако их миниатюризация и унификация габаритных размеров представляют собой более трудную задачу. Это обусловлено технологическими особенностями низкотемпературной керамики, в частности невысокой диэлектрической проницаемостью и ограниченной номенклатурой толщин керамических листов, не позволяющих реализовать миниатюр-

ные конденсаторы большой ёмкости. Кроме того, реализация интегральных LC-фильтров возможна с ограниченным числом схмотехнических решений [1, 2].

Как было показано в диссертации Т.С. Хроленко [2], наиболее подходящими для создания миниатюрных интегральных полосовых LC-фильтров являются схемы, удовлетворяющие следующим критериям:

- ёмкости должны быть заземлены (включены в поперечные ветви);
- незаземлённые ёмкости должны быть включены между заземлёнными ёмкостями (то есть в продольные ветви);
- катушки индуктивности могут быть заземлёнными или незаземлёнными;
- номиналы элементов схемы должны лежать в пределах 0,5–200 нГн для катушек индуктивности и 0,05–200 пФ для конденсаторов.

Из всего разнообразия схем фильтров в наибольшей степени этим требованиям соответствует топология на основе параллельных контуров и топология, преобразованная на последовательных контурах с ёмкостной связью (см. рис. 1а и 1б соответственно). Расчёт элементов этих схем может быть проведён на основе известных методик, изложенных, например, в Справочнике по расчёту фильтров [3].

Как показали исследования Т.С. Хроленко [2], использование стекowych

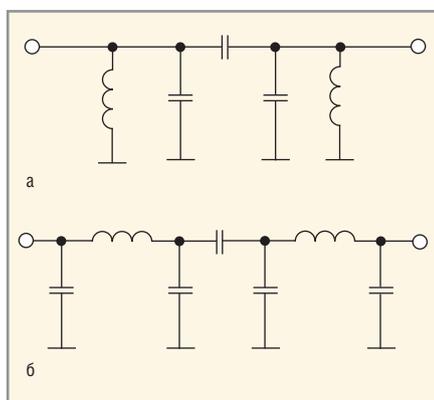


Рис. 1. Схемы интегральных полосовых LC-фильтров

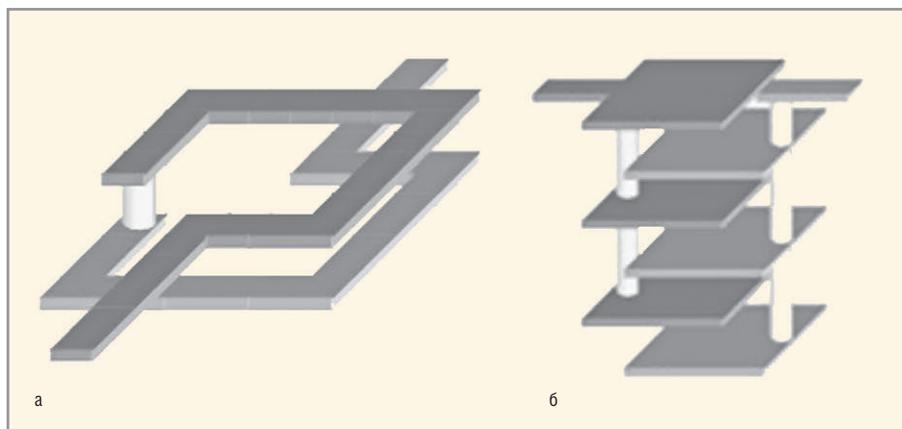


Рис. 2. Возможные варианты конструкций стекowych: а – катушки индуктивности; б – конденсатора

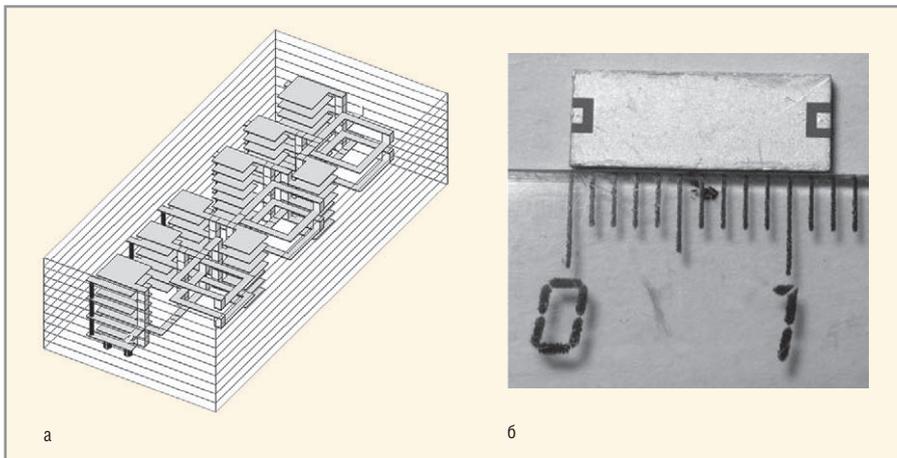


Рис. 3. Макет полосового фильтра с центральной частотой 900 МГц: а – конструкция; б – внешний вид

структур при проектировании миниатюрных интегральных LC-фильтров позволяет уменьшить их линейные размеры. На рисунках 2а и 2б изображены варианты исполнения стекowej катушки индуктивности и стекowej конденсатора, соответственно. В этом случае, приближённые номиналы катушки индуктивности и конденсатора рассчитываются по формулам [4]:

$$L = L_1 + L_2 + 2k\sqrt{L_1L_2},$$

$$C = 0,885 \frac{\epsilon S}{d(n-1)},$$

где  $L_1, L_2$  – индуктивности,  $k$  – коэффициент связи между ними,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость материала,  $S$  – площадь обкладок конденсатора,  $d$  – расстояние между обкладками,  $n$  – количество обкладок.

Очевидно, что для минимизации геометрических размеров интегрального конденсатора необходимо использовать керамику малой толщины с высокой диэлектрической проницаемостью.

Кроме того, для уменьшения потерь в полосе пропускания керамика должна обладать малым тангенсом угла диэлектрических потерь. В наибольшей степени этим требованиям отвечает материал Green Tare 951 фирмы DuPont, имеющий диэлектрическую проницаемость 7,8 и толщину после обжига от 36 до 216 мкм [1].

Макет интегрального полосового LC-фильтра третьего порядка с центральной частотой 900 МГц и полосой пропускания 200 МГц был выполнен в 10 слоях керамики Green Tare 951 с габаритными размерами 12 × 6 × 1 мм (см. рис. 3). Конструкцию фильтра образуют квадратные стекowej катушки индуктивности и стекowej конденсаторы. Результаты измерений (см. рис. 4) показали, что предложенные схемные и конструктивные решения обеспечивают вносимые потери в полосе пропускания не более 3 дБ, затухание в полосе задерживания – не менее 30 дБ и отсутствие паразитных полос про-

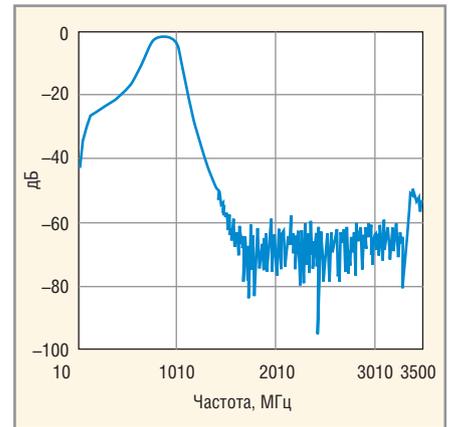


Рис. 4. Экспериментальная АЧХ макета полосового фильтра с центральной частотой 900 МГц

пускания вплоть до утроенной центральной частоты.

Дальнейшие исследования, направленные на минимизацию и унификацию габаритных размеров фильтров, подтвердили, что применение выбранных схем, конструкций интегральных элементов и керамики Green Tare 951 позволяет реализовать интегральные полосовые LC-фильтры второго, третьего и более высоких порядков в диапазоне частот 150...3000 МГц с относительными полосами пропускания 10...70% и уровнем гарантированного затухания в полосе задерживания 20...40 дБ в виде унифицированного ряда в габаритных размерах 7,0 × 5,0 × 2,8 мм.

В качестве примера на рисунке 5а приведена конструкция интегрального полосового LC-фильтра с центральной частотой 1840 МГц и полосой пропускания 200 МГц, выполненного на основе преобразованной схемы на последовательных контурах с ёмкостной связью в 20 слоях керами-

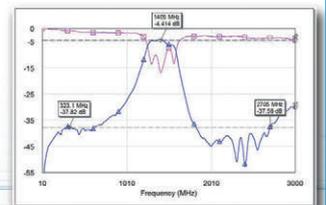
**ОАО «ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»**



**ОМСКИЙ НИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**  
ДАЛЬНЯЯ РАДИОСВЯЗЬ.  
АППАРАТУРА И КОМПЛЕКСЫ.

ОАО «ОНИИП» освоил выпуск интегральных фильтров частотного диапазона до 6 000 МГц на основе низкотемпературной совместно-обжигаемой керамики (LTCC), для аппаратуры современных комплексов всех видов связи, радиолокации, навигации, а также в спутниковой связи.

Данное направление ОАО «ОНИИП» позволяет полностью заместить на рынке российской электроники аналогичную продукцию таких ведущих зарубежных компаний, как Murata, Bovei, Syfer Technology, Mini Circuits.



- Основные технические характеристики фильтров:
- диапазон частот 80...6 000 МГц;
  - относительная ширина полосы пропускания 10...70%;
  - вносимые потери в полосе пропускания 2...6 дБ;
  - гарантированное затухание в полосе задерживания 30...40 дБ.

Реклама

Россия, г. Омск, 644009, ул. Масленикова 231, тел. (3812) 514900 факс. (3812) 514987, e-mail: info@oniip.ru, http://www.oniip.ru

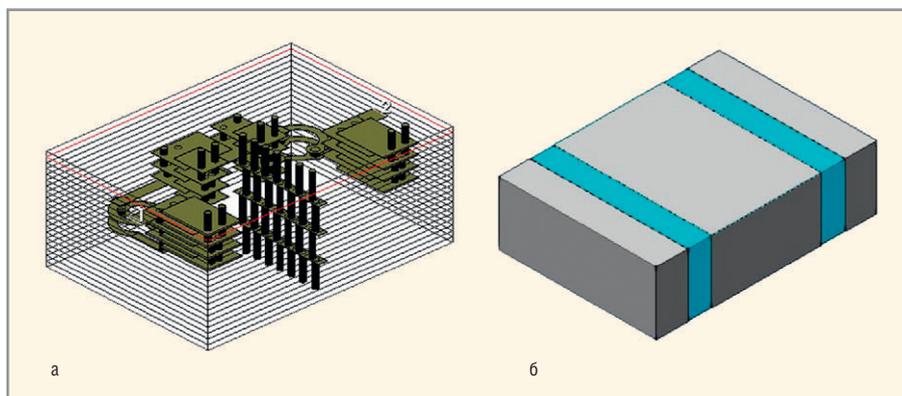


Рис. 5. Полосовой фильтр с центральной частотой 1840 МГц: а – конструкция; б – внешний вид

ки Green Tape 951. Внешний вид фильтра показан на рисунке 5б. Использование высокочастотных конструкций катушек индуктивности в виде стержневой круглой спирали, предложенных в работе Т.С. Хроленко [2], а также дополнительного внутреннего экрана позволило не только уменьшить габаритные размеры фильтра до  $7,0 \times 5,0 \times 2,8$  мм, но и снизить потери в полосе пропускания до 2 дБ при более узкой относительной ширине полосы пропускания. На рисунке 6 представлена расчётная АЧХ фильтра.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное решение схемотехнических, конструктивных и технологических вопросов подтвердило возможность реализации унифицированного ряда миниатюрных интегральных полосовых LC-фильтров второго, третьего и более высоких порядков в диапазоне частот от 150 МГц до 3 ГГц, с относительными полосами пропускания 10...70% и уровнем гарантированного затухания в полосе задерживания 20...40 дБ в габаритных размерах  $7,0 \times 5,0 \times 2,8$  мм.

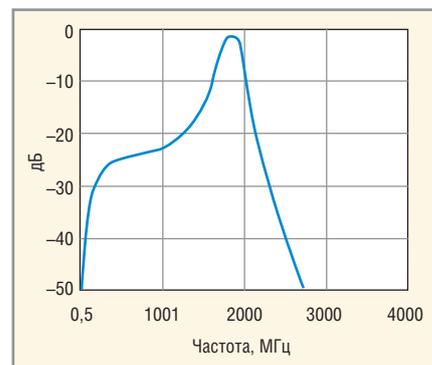


Рис. 6. Расчётная АЧХ макета полосового фильтра с центральной частотой 1840 МГц

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вендик И.Б., Холодняк Д.В., Симин А.В. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Компоненты и технологии. 2005. Вып. 5. С. 190–196.
2. Хроленко Т.С. Интегральные LC-фильтры ВЧ и СВЧ диапазонов на основе современных материалов. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. Омск. 2013.
3. Ханзел Г.Е. Справочник по расчёту фильтров. Советское радио. 1974.
4. Babl Inder. Lumped Elements for RF and Microwave Circuits. Artech House. 2003. ©

www.jtaglive.ru



## Пугают цены на системы периферийного сканирования?



- Buzz
- BuzzPlus
- AutoBuzz
- Clip
- Script
- Плееры JAM/STAPL/SVF
- JTAG Live Controller



Реклама

Представительство JTAG Technologies в России  
Телефон: (812) 313-9159  
E-mail: russia@jtag.com

Эксклюзивный дистрибьютор: 000 Предприятие Остек  
Телефон: (495) 788-4444  
E-mail: info@ostec-group.ru

**Лидер в области разработки  
и производства высоковольтных  
реле и контакторов**



Вакуумные реле



Газонаполненные реле



Герконовые реле



Контакторы

## Новости мира News of the World Новости мира

### Форум «РазВИтие. Российские технологии для инженеров»

23 сентября в Москве состоится Форум «РазВИтие. Российские технологии для инженеров». Это мероприятие позволит предприятиям промышленности по-новому взглянуть на российский инженерный софт: оценить динамику развития российских продуктов в CAD/CAE/CAM/PLM/MRP-сфере, уровень их взаимной интеграции и ознакомиться с совместными планами на ближайшие годы.

Впервые на единой площадке ответственные разработчики представят современные решения, охватывающие все стадии производственного цикла: системы проектирования, управления жизненным циклом изделия и производством, программы для инженерных расчётов и анализа, подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ и мониторинга станков, графические станции, средства визуализации 3D-моделей.

К участию в форуме приглашаются руководители и ведущие специалисты инженер-

### Программа секции EDA на Форуме «РазВИтие. Российские технологии для инженеров»

Время	Тема
13:00–13:20	Delta Design – Система автоматизированного проектирования электроники. Презентация первой отечественной САПР электроники со сквозным циклом проектирования от компании Эремекс. Обеспечение импортнезависимости ведущих предприятий приборостроения РФ.
13:25–14:05	Проектирование электроники в САПР Delta Design. Работа с библиотекой компонентов, концепция компонента, редакторы УГО, контактных площадок и посадочных мест. Схемотехнический редактор – разработка электрических принципиальных схем. Roadmap системы.
14:10–14:30	Проектирование электроники в САПР Delta Design. Редактор правил – задание правил проектирования печатной платы.
14:35–14:55	Проектирование электроники в САПР Delta Design. Маршрут сквозного проектирования. Импорт проекта из САПР P-CAD в Delta Design. Работа в редакторе печатных плат.
15:00–15:30	Проектирование электроники в САПР Delta Design. Сокращение проектных и производственных издержек. TороR – редактор топологии и автоматический топологический трассировщик. Особенности и преимущества.
15:30–16:30	Перерыв.
16:30–17:30	Проектирование электроники в САПР Delta Design. Сокращение проектных издержек. SimOne – пакет схемотехнического аналогового моделирования. HDL симулятор – цифровое моделирование.
17:40–18:00	Delta Design. FX-RTOS – операционная система жёсткого реального времени для встраиваемых систем.

ных служб и ИТ-подразделений, которые ищут новые или альтернативные инструменты для решения своих профессиональных задач.

В рамках Секции EDA и выставочной части Форума специалисты компании «Эремекс» познакомят участников с паке-

том сквозного проектирования электроники Delta Design, а также с масштабируемой ОСРВ FX-RTOS, предназначенной для управления встраиваемыми системами с ограниченными ресурсами.

Delta Design содержит все основные инструменты для организации сквозного





# Программируемые аналоговые микросхемы:

## весь спектр электроники на одном кристалле!

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ ANADIGM**



Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



## Новости мира News of the World Новости мира

проектирования электронных устройств на базе печатных плат: от создания базы данных радиоэлектронных компонентов до генерации файлов, используемых в производстве. В состав САПР Delta Design входит ряд функциональных компонентов, в частности:

- **ТороR** (Topological Router) – высокопроизводительный топологический трассировщик печатных плат, который на сегодняшний день не имеет аналогов и успешно используется не только в России, но и за рубежом;
- **SimOne** – симулятор для полнофункционального SPICE-моделирования радиоэлектронных схем, который по скорости и точности анализа превосходит большинство аналогов и ни в чём не уступает лидерам рынка.

Место проведения Форума: Москва, ул. Русаковская, 24, отель «Холидей Инн Сокольники». Для регистрации на семинар необходимо заполнить электронную форму на сайте организатора.

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

### Intel и Micron разработали память в 1000 раз быстрее NAND

На IDF 2015 компании Intel и Micron сообщили о завершении разработки нового класса памяти 3D XPoint. Передовая технология позволяет сделать накопители до 1000 раз быстрее (их скорость измеряется в десятках наносекунд, а не микросекунд, как в NAND) и до 1000 раз выносливее. Кроме того, 3D XPoint позволяет добиться в 10 раз более плотного размещения, чем в существующих аналогах.

Intel Optane – именно так будет называться новая технология – позволит создавать высокопроизводительные накопители. По предварительным данным, накопители на базе этой технологии будут обладать существенными преимуществами по сравнению с традиционными SSD. Например, они обеспечат 7,2-кратный прирост производительности в операциях ввода-вывода при малой очереди запросов и 5,21-кратный – при большой очереди запросов. Ещё одно преимущество Optane – жизненный цикл нако-

пителей существенно увеличится, а проблема износа ячеек с невозможностью последующей записи в них исчезнет.

В линейке ожидаются варианты как для дата-центров, так и для ноутбуков, в форматах M.2 и U.2, причём как с интерфейсом SATA, так и с DDR4. У Intel пока нет планов по передаче технологии каким-либо другим производителям: мощностей Micron на данный момент хватит для обеспечения рынка. Разработчики 3D Xpoint считают технологию самым значимым прорывом со времён появления 25 лет назад технологии NAND, которая до сих пор лежит в основе флэшек и SSD.

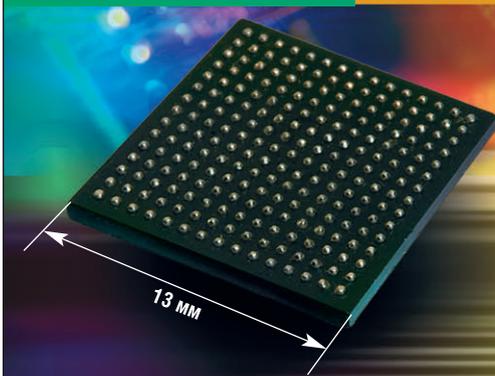
Новая память займёт место где-то между NAND и DRAM (основа оперативной памяти): до скорости последней новая разработка не дотягивает, но при этом энергонезависима. Глава Intel Брайан Кржанич считает, что полностью раскрыть возможности 3D Xpoint можно только изменив архитектуру компьютеров и операционных систем.

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



НОВЫЙ

X86 МИКРОКОНТРОЛЛЕР RDC HB301



Основные достоинства

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

Области применения

Технические характеристики

- 300 МГц 32-бит ядро (архитектура 80486SX)
- Двухпортовый хост-контроллер USB 2.0
- Контроллер PCI rev. 2.1
- 2 контроллера Fast Ethernet MAC
- Встроенный контроллер памяти DR/DDR/DDR2
- Интегрированная периферия
  - контроллер прерываний
  - контроллер DMA
  - таймеры
- 25 портов ввода-вывода общего назначения
- Поддержка Windows, DOS, Linux и других ОС



Доступен набор для разработчиков и полный комплект технической документации

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ RDC НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ, СТРАН СНГ И БАЛТИИ

**ProCHIP**  
POWERED BY ProSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

# Методы расширения полосы пропускания осциллографов реального времени

Tektronix, Inc.

В статье сравниваются различные методы расширения полосы пропускания осциллографов реального времени и описывается последнее инновационное решение – технология асинхронного чередования во времени (АТИ).

За последние десять лет скорость передачи данных в цифровых каналах связи выросла более чем десятикратно. Ранее широко использовались скорости 1 Гбит/с, а теперь повсеместное распространение получают каналы со скоростью более 10 Гбит/с. Оптические линии связи работают на скоростях 100 Гбит/с и выше. Ведутся исследования, нацеленные на достижение в ближайшем будущем скоростей 1 Тбит/с. Радиочастотные широкополосные каналы связи работают в диапазонах выше 20 ГГц, при этом радиосвязь и оптические линии передачи используют сложные схемы модуляции и малые амплитуды сигналов для достижения требуемой ёмкости каналов и удовлетворения требований нормативных документов. Это порождает потребность в широкополосных осциллографах реального времени для проверки, сертификации и отладки этих новых систем. В результате разработчики осциллографов вынуждены расширять полосу пропускания осциллографов реального времени до 60–70 ГГц и более.

## Обычный входной канал с АЦП

Обычный входной канал цифрового осциллографа реального времени использует аналоговый входной интерфейс, состоящий из предусили-

теля, аттенуатора и схемы выборки и хранения для фиксации амплитуды сигнала на время выборки. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) используется для последовательного преобразования уровней напряжения, поступающих со схемы выборки и хранения, в поток числовых значений (см. рис. 1).

Если предположить, что аналоговый интерфейс обеспечивает полную полосу пропускания канала, то основным ограничивающим фактором становится частота дискретизации АЦП. Из теоремы Котельникова следует, что для точного представления всех составляющих сигнала в пределах необходимого диапазона частот частота дискретизации должна превышать максимальную частоту сигнала не менее чем в два раза. Например, для канала с полосой пропускания 25 ГГц потребуется частота дискретизации не менее 50 Гвыб./с. С ростом требований к полосе пропускания становится всё труднее найти АЦП, отвечающий требованиям теоремы Котельникова.

Здесь уместно было бы обсудить шум обычного входного канала с АЦП, поскольку это станет основой дальнейших рассуждений относительно шума канала, связанного с методами улучшения характеристик АЦП.

На рисунке 2 показана спектральная плотность мощности белого шума.

Поскольку белый шум по определению содержит все частоты, спектральная плотность мощности равномерно распределена в полосе Котельникова. Для канала с частотой дискретизации 50 Гвыб./с полоса пропускания, согласно теореме Котельникова, равна 25 ГГц.

Некоторое подавление шума, заметное на рисунке 2, связано с фильтром, ограничивающим полосу пропускания осциллографа (так называемый фильтр защиты от наложения спектров), который подавляет шум, расположенный между частотой среза фильтра и частотой Котельникова для данного канала.

## Каналы с временным уплотнением

Если частота дискретизации имеющихся АЦП недостаточна для удовлетворения требований к полосе пропускания, то приходится искать другие способы использования доступной элементной базы для соответствия таким жёстким условиям или создавать АЦП нового поколения. Распространённым методом расширения возможностей имеющихся компонентов является временное уплотнение. В этом случае аналоговый интерфейс проектируется так, чтобы пропускать всю полосу сигнала, а дальше используются два параллельно включённых АЦП. Каждый АЦП должен поддерживать частоту дискретизации, равную, как минимум, половине частоты, необходимой для удовлетворения критерия Котельникова. Например, если аналоговый интерфейс обеспечивает полосу пропускания до 45 ГГц, то для

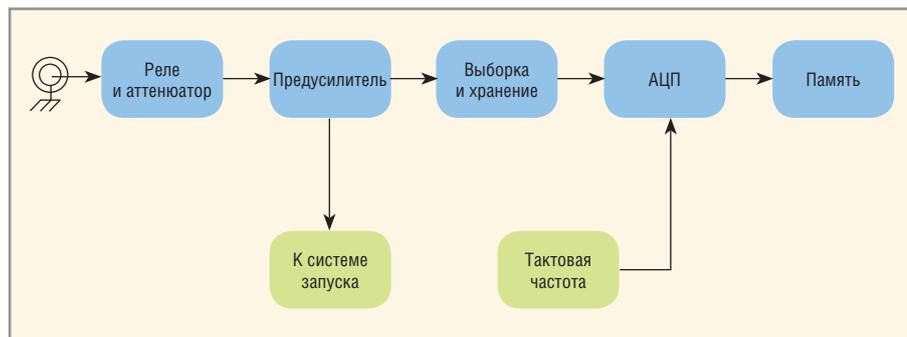


Рис. 1. Обычный входной канал с АЦП

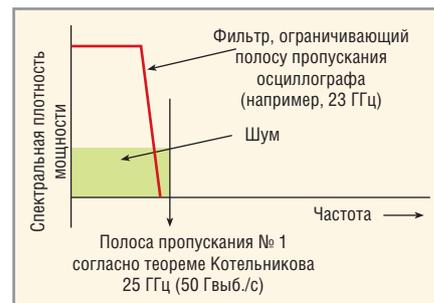


Рис. 2. Спектральная плотность мощности белого шума

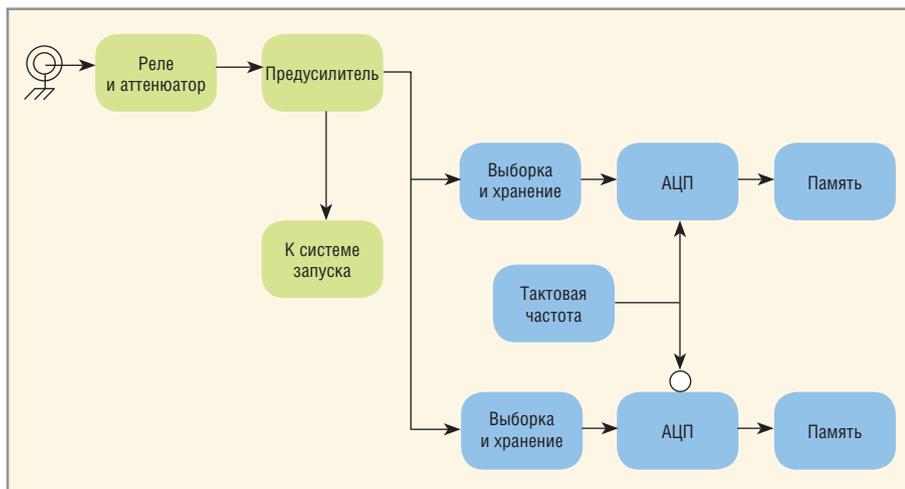


Рис. 3. АЦП с временным уплотнением

достижения частоты дискретизации 100 Гвыб./с можно использовать чередование двух АЦП с частотой дискретизации 50 Гвыб./с (см. рис. 3). В этом случае тактовые частоты АЦП должны быть сдвинуты по фазе на 180°. Данные сохраняются в памяти, включённой после каждого АЦП, и по завершении захвата можно реконструировать полный сигнал с частотой дискретизации 100 Гвыб./с путём чередования

полученных данных (что иногда называется демультиплексированием). Следует отметить, что никаких ограничений на число чередующихся АЦП не накладывается, хотя с ростом числа АЦП синхронизировать их становится всё сложнее. Метод временного уплотнения для достижения гигагерцового диапазона используется всеми ведущими производителями осциллографов.

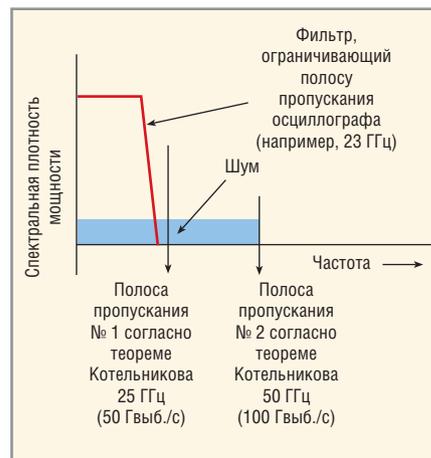


Рис. 4. Расширение полосы Котельникова в результате временного уплотнения

Важно отметить, что с ростом частоты дискретизации белый шум равномерно распределяется по новой полосе Котельникова. В примере, показанном на рисунке 4, частота дискретизации возрастает с 50 до 100 Гвыб./с, в результате чего полоса Котельникова расширяется с 25 до 50 ГГц. Если шумовые характеристики обоих чередующихся каналов одинаковы, то плотность мощности шума

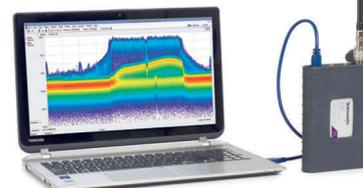
## Требуется анализ аналоговых и цифровых сигналов в реальном времени?



Осциллографы



Осциллографы с анализатором спектра



Анализаторы спектра

Предельные значения параметров:

- Диапазон частот – до 80 ГГц
- Полоса анализа в реальном времени – до 165 МГц
- Задержка реакции на событие – от 50 пс

Реклама



Официальный дистрибутор Tektronix в России  
Тел.: +7 (499) 613-7001, www.rodnik.ru



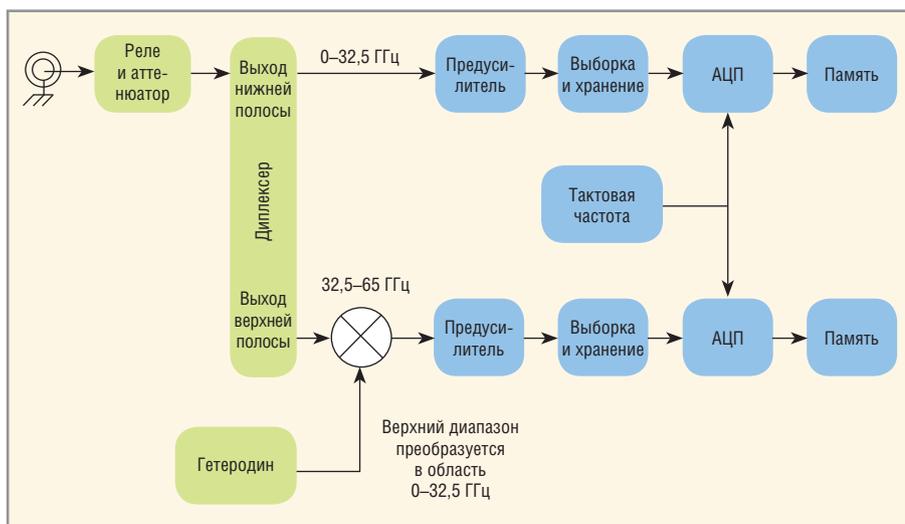


Рис. 5. Пример канала со смесителем

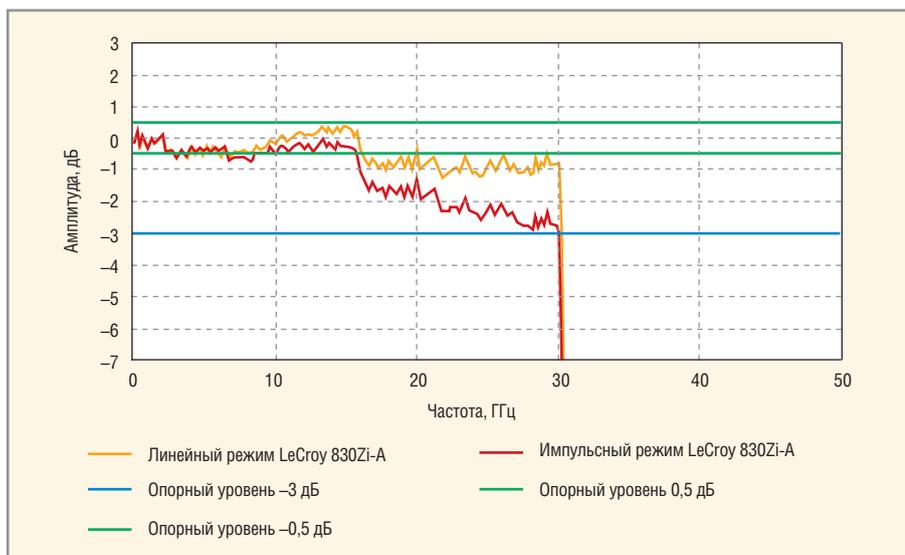


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика осциллографа LeCroy 830Zi-A 100 мВ/дел., 80 Гвыб./с, 30 ГГц

уменьшается вдвое и равномерно распределяется в пределах новой полосы Котельникова. Конечно, целью временного уплотнения в нашем случае является расширение полосы пропускания системы за счёт расширения полосы входного аналогового интерфейса и повышения частоты дискретизации, но следует отметить, что если полоса остаётся той же, что была описана вначале (используется тот же фильтр для ограничения полосы пропускания осциллографа), то общий эффект будет заключаться в снижении уровня шума. Практическая реализация этого метода демонстрирует снижение шума на 15–20%.

**Каналы с частотным уплотнением и понижающие преобразователи частоты**

Понижающие преобразователи частоты используются в приёмниках

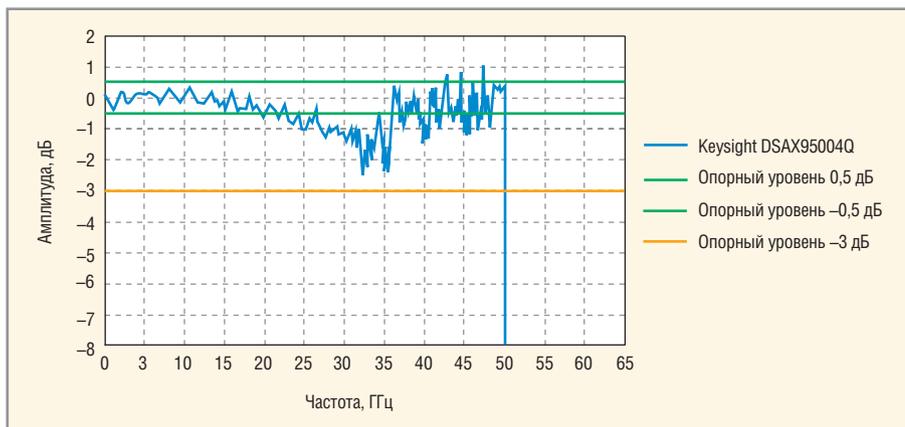
и других РЧ-устройствах уже более столет. Концепция проста: смешиваем две частоты и получаем сумму и разность этих частот (этот процесс называется гетеродинированием). Если правильно выбрать одну из этих частот (например, частоту гетеродина) по отношению к другой частоте, то можно получить разностную частоту в более удобном (как правило, более низком) диапазоне и далее работать с ней.

В осциллографах понижающие преобразователи частоты тоже применяются достаточно давно. Раньше понижающий преобразователь был внешним блоком, и его согласование и калибровка представлялись весьма непростыми задачами. Позже понижающие преобразователи стали встраиваться непосредственно в осциллографы. Если частоту гетеродина осциллографического канала установить равной половине полосы пропуска-

ния аналогового интерфейса, то это позволит захватить сигналы верхней половины полосы осциллографа с помощью одного АЦП, а сигналы нижней половины – с помощью другого АЦП. Схема канала со смесителем представлена на рисунке 5. Реконструкция сигнала путём «склейки» верхней и нижней половин спектра выполняется в современных цифровых осциллографах реального времени цифровым сигнальным процессором.

Первый такой подход в виде функции, встроенной в цифровой осциллограф, которую назвали «Цифровым уплотнением полосы» (DBI), реализовала компания LeCroy. Недавно компания Keysight последовала этому примеру, предложив входные каналы «RealEdge». Основное преимущество для разработчиков осциллографов заключается в том, что каждый АЦП должен иметь частоту дискретизации, превышающую общую полосу пропускания канала. Однако этот метод сопряжён с другими конструктивными проблемами. После захвата данных и записи их в память нужно повысить частоту тракта верхнего диапазона до исходного значения с помощью методов цифровой обработки сигнала. Объединить две половины спектра и реконструировать сигнал достаточно сложно. Поскольку сигнальные тракты не идентичны, нужно компенсировать эти различия путём калибровки, которая является задачей цифрового сигнального процессора. Кроме того, в связи с применением полосовых фильтров для разделения спектра на две половины, точное восстановление центральной части спектра оказывается проблематичным. В зоне объединения наблюдаются проблемы с равномерностью АЧХ и линейностью фазы.

На рисунке 6 показана амплитудно-частотная характеристика осциллографа LeCroy 830Zi-A, который использует DBI в диапазоне выше 16 ГГц. Обратите внимание, что в диапазоне 0–5 ГГц АЧХ достаточно равномерна, но приобретает иной характер в диапазоне 15–30 ГГц. Компания LeCroy предлагает три различных режима «оптимизации». Равномерность АЧХ для двух из этих трёх режимов заметно отличается. Например, значение амплитуды на частоте 22 ГГц в линейном режиме будет примерно на 10% меньше реального значения. В режиме импульсной оптимизации



**Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика осциллографа Keysight DSAX95004Q**  
Амплитуда, 50 мВ/дел, 160 Гвыб./с, 50 ГГц

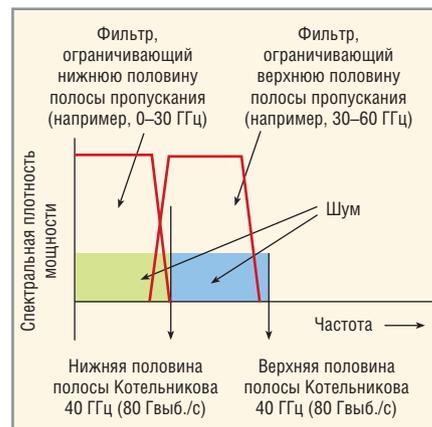
значение амплитуды на той же частоте 22 ГГц будет меньше на 20%.

Подобная проблема наблюдается в осциллографе Keysight DSAX95004Q при использовании входов «RealEdge». Амплитудно-частотная характеристика этого прибора показана на рисунке 7.

В результате Keysight лучше справляется с выравниванием АЧХ по сравнению с LeCroy. Но обратите внимание на часть графика выше 32 ГГц. Осцил-

лограф Keysight с полосой пропускания 50 ГГц использует ту же схему, что и 63-гигагерцевая модель, поэтому неудивительно, что аномалия в этом приборе наблюдается на частоте 32, а не 25 ГГц. Отклонение амплитуды в этой области на два и более децибела означает, что измерения амплитуды на этих частотах дают погрешность более 20%.

Возвращаясь к вопросу шума (см. рис. 8), будет полезно узнать,



**Рис. 8. Спектральная плотность мощности шума в полосе Котельникова**

что происходит с шумом канала при использовании частотного уплотнения. Как уже говорилось, спектральная плотность мощности шума равномерно распределяется в полосе Котельникова, равной половине частоты дискретизации канала. Поскольку каждый АЦП обрабатывает половину всего частотного диапазона, то потенциальная возможность снижения шумов при переходе от временного уплотнения к частотному отсутствует (при сохранении той

**АРБЕЛОС**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

**РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК  
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ**

- Разработка герметичных DC/DC-преобразователей для ответственных применений
- Разработка и производство мощных источников питания для авиационной аппаратуры
- Разработка заказных силовых и ВЧ/СВЧ-модулей
- Производство дискретных силовых компонентов в керамических корпусах
- Разработка и проведение испытаний изделий и компонентов силовой электроники

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР НПП «АРБЕЛОС»**

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU

Реклама

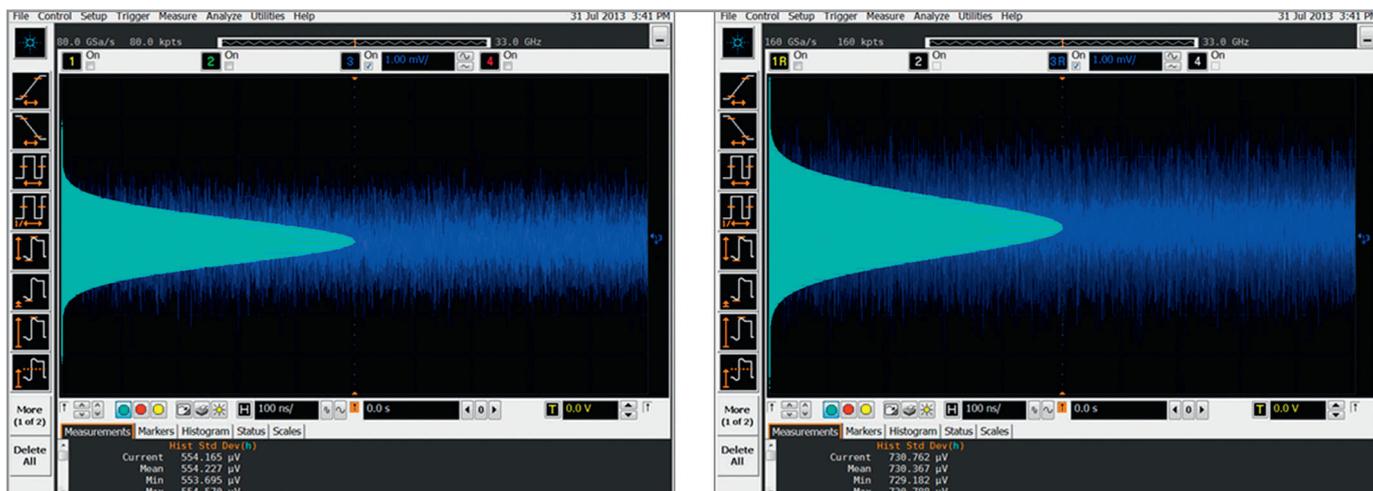


Рис. 9. Сравнение шума входных каналов осциллографа Keysight DSAX95004Q (стандартный режим и режим «RealEdge»)

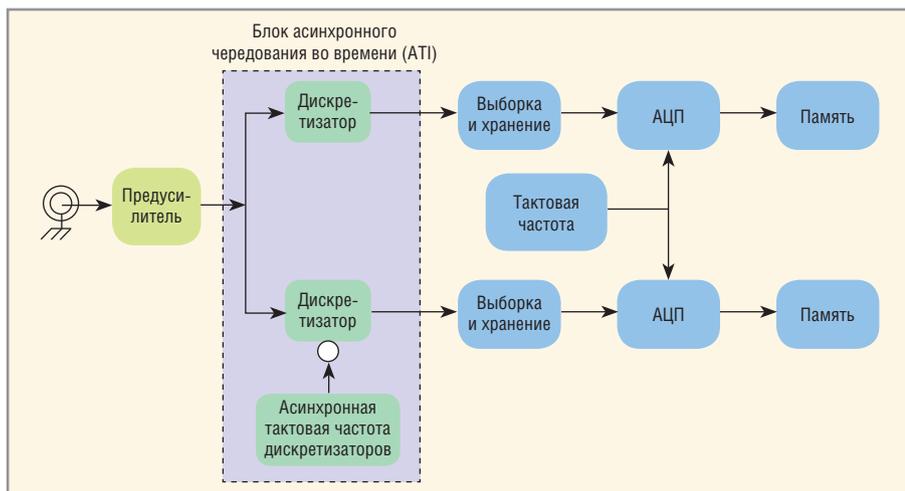


Рис. 10. Структурная схема асинхронного чередования во времени

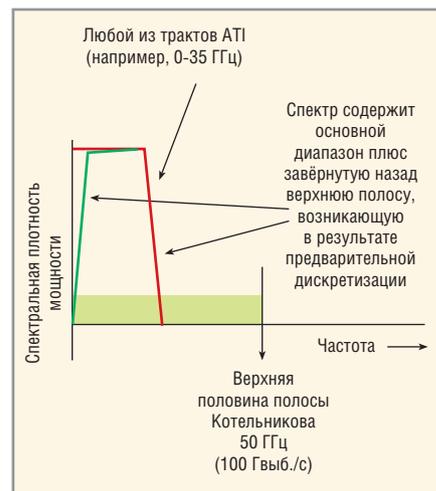


Рис. 11. Сигнал в каждом тракте канала ATI

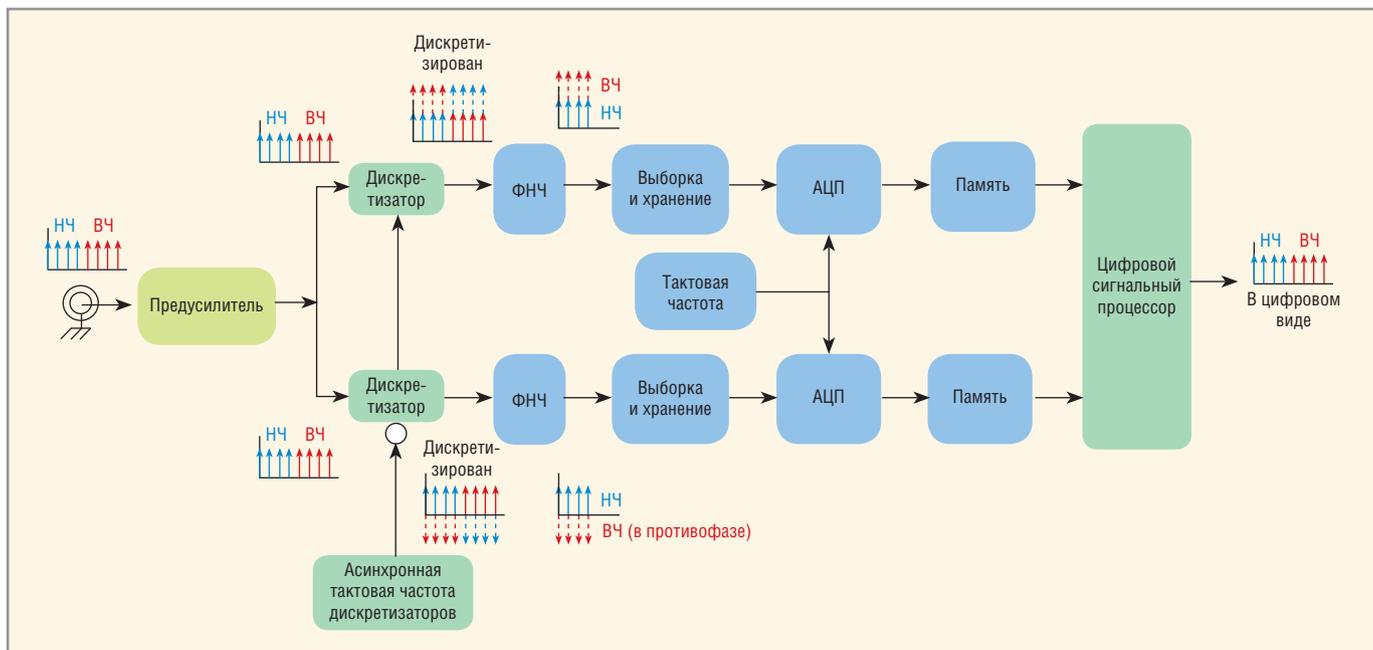


Рис. 12. Структурная схема канала ATI

же полосы пропускания). На самом деле, при использовании частотного уплотнения шум даже возрастает. На рисунке 9 показаны два снимка экрана, демонстрирующие это явление в осцил-

лографе Keysight DSAX95004Q путём сравнения шума стандартного канала с полосой 33 ГГц (слева) с шумом канала «RealEdge» с той же полосой 33 ГГц (справа).

Измеренный уровень собственного шума осциллографа Keysight имеет среднеквадратическое значение 554 мкВ в стандартном канале и 731 мкВ в канале «RealEdge» в оди-

наковой для обоих режимов полосе 33 ГГц. Шум канала «RealEdge» превышает шум стандартного канала примерно на 32%.

### ТЕХНОЛОГИЯ АСИНХРОННОГО ЧЕРЕДОВАНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Учитывая технические проблемы, связанные с частотным уплотнением, применяемым до сегодняшнего дня в осциллографах гигагерцевого диапазона, компания Tektronix предложила новый подход, который позволяет обойти некоторые недостатки DBI и достичь при этом той же расширенной полосы, но без применения новых АЦП. В методе асинхронного чередования во времени (АТИ) в качестве гармонического смесителя используется предварительный дискретизатор. Структурная схема асинхронного чередования во времени показана на рисунке 10.

Первое, что отметит специалист, это симметрия сигнальных трактов. Здесь нет особенной разницы в задержке прохождения или сдвиге фазы между двумя трактами канала. Это упрощает последующие процессы цифровой реконструкции по сравнению с DBI, минимизируя погрешность в области перехода диапазонов. При использовании АТИ на оба АЦП подаётся полная полоса сигнала. При этом спектральная плотность мощности шума равномерно распределяется по общей частоте дискретизации, которая в два раза превышает частоту дискретизации каждого АЦП. В результате общий шум в полосе пропускания получается ниже, чем в аналогичной архитектуре DBI.

Поскольку гармоническое смешение и дискретизация по времени, в сущности, являются одним и тем же, смеситель, показанный на структурной схеме АТИ (см. рис. 10), можно заменить предварительным дискретизатором. Эта схема использует предварительный дискретизатор для субдискретизации входного сигнала, тем самым заворачивая спектр назад, в полосу Котельникова АЦП. Например, 70-гигагерцевую систему можно получить с помощью асинхронной тактовой частоты 75 ГГц. В результате верхняя половина сигнала 70 ГГц завернётся назад в диапазон от 0 до 37,5 ГГц. Затем результирующие данные от предварительного дискретизатора оцифровываются АЦП с частотой, независимой от частоты предва-



Рис. 13. Внешний вид осциллографа Tektronix DPO77002SX 70 ГГц АТИ

рительной дискретизации, например, с частотой 100 Гвыб./с. Обратите внимание, что предварительный дискретизатор работает асинхронно с тактовой частотой АЦП. На рисунке 11 показан сигнал в каждом тракте канала АТИ.

На рисунке 12 показана более полная структурная схема канала с асинхронным чередованием во времени, а также показан спектр сигнала в ключевых точках. Как видно из рисунка, спектр поступает на предусилитель и проходит через разветвитель на предварительные дискретизаторы. Спектр на выходе предварительного дискретизатора содержит разностный спектр верхнего диапазона, завернутый назад в нижний диапазон, а также сумму спектра нижнего диапазона, наложенного на верхний диапазон. Затем этот сложный спектр проходит через фильтр нижних частот, который подавляет верхний диапазон, а нижний диапазон (включая завернутый назад верхний диапазон) пропускает без изменений. Затем этот отфильтрованный сигнал поступает на схему выборки и хранения и преобразуется АЦП.

После преобразования и сохранения данных в памяти, исходный сигнал можно восстановить путём цифрового смещения сигнала с помощью методов цифровой обработки. Здесь, в качестве входного сигнала цифрового смесителя вместо физического асинхронного сигнала тактовой частоты, может использоваться математическое представление этого сигнала, если принять меры к тому, чтобы фазы исходного аналогового асинхронного сигнала тактовой частоты и его математического представления совпадали.

Обратите внимание, что два предварительных дискретизатора работают в противофазе (со сдвигом на 180°). Это важно для реконструкции сигнала. После цифрового смещения в процессе реконструкции цифровой

сигнал содержит суммарный и разностный спектр исходных захваченных данных. Однако во время окончательного объединения этих сигналов, части спектра, сдвинутые по фазе на 180°, взаимно подавляются, и остаётся только исходный спектр, плюс часть суммарного спектра, которая подавляется фильтром нижних частот с частотой среза 75 ГГц. В результате остаётся только спектр сигнала от 0 до 70 ГГц, исходно поступившего на осциллограф.

Последний этап объединения представляет собой сложение и деление на два. Эта функция приводит амплитуду входного сигнала к её исходному значению, но влияет и на средний шум всего захвата, снижая, тем самым, общий шум измерительного канала.

### ПЕРВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ: DPO77002SX

Производительный осциллограф Tektronix DPO77002SX 70 ГГц АТИ (см. рис. 13) является первой серийной моделью, использующей технологию АТИ. Он предоставляет один канал с полосой пропускания 70 ГГц и частотой дискретизации 200 Гвыб./с с технологией АТИ, или два канала с полосой пропускания 33 ГГц и частотой дискретизации 100 Гвыб./с с обычным захватом в режиме реального времени.

В итоге метод АТИ компании Tektronix обладает следующими достоинствами:

- позволяет воспользоваться имеющимися АЦП для обработки более высокочастотных сигналов;
- обеспечивает высочайшую точность преобразования сигнала;
- обладает минимальным уровнем шумов.

Применение технологии 9HP SiGe BiCMOS компании IBM (с Ft = 300 ГГц) позволяет получить характеристики сигнального тракта, обеспечивающие целевую полосу пропускания 70 ГГц для осциллографов следующего поколения.

# Архитектура систем тестирования микросхем компании AVI

Ян Флетчер, AVI Electronics Ltd.

В процессе принятия решения о приобретении системы компании AVI заказчики сравнивают спецификации с техническими характеристиками конкурентных решений и часто задают два вопроса: «Какова скорость тестирования?» и «Каков объём памяти на каждый канал?». Ответить на них сразу сложно, так как архитектура и принципы работы систем AVI и продуктов других производителей отличаются.

Необходимость тестирования микросхем появилась, собственно, в момент их изобретения, ведь производителям необходимо всегда быть уверенными в характеристиках своей продукции. Типичная архитектура таких тестовых систем состоит из нескольких источников/измерителей (по одной паре на каждый вывод), оснащённых большим объёмом быстрой памяти. Каждый такой канал может быть сконфигурирован в качестве выходного для воздействия на вход микросхемы, или входного – для регистрации отклика с её выхода. В память заносятся пакеты данных, называемые тестовыми векторами, которые выдаются источником в качестве воздействия на испытуемую микросхему. Компаратор сравнивает состояния выходов микросхемы с ожидаемыми значениями, также хранимыми в ячейке памяти канала.

С течением времени в этой технологии появилось множество улучшений: увеличилась тактовая частота, появилась возможность установки уровня напряжения источника и скорости его нарастания, а также значения пороговых уровней по входу. Тем не менее, базисная

архитектура работы каналов не изменилась и по сей день. Это и приводит к возникновению упомянутых вопросов от заказчиков, что естественно при рассмотрении типовой спецификации тестера микросхем на архитектуре быстрой памяти. Это оборудование подходит для тестирования отдельных микросхем, но при этом также обладает многими недостатками, в частности при выполнении задачи поиска неисправностей на печатных платах. Перечислим их:

- **Цена.** Использование высокоскоростной памяти и сопутствующей управляющей логики приводит к тому, что получаемая система является весьма дорогой. Цена некоторых решений может достигать более полумиллиона фунтов стерлингов.
- **Сложность и габариты.** Сложность многоканальных тестеров, построенных на этой архитектуре, приводит к тому, что они обычно представлены в стационарном исполнении и их транспортировка затруднительна. Стоимость обслуживания при этом также высока.
- **Конечный набор тестовых программ.** Простая микросхема, такая как 74F74,

может быть установлена на печатную плату множеством способов. Тестер на архитектуре быстрой памяти потребует использовать отдельную тестовую программу для каждой схемы внешних соединений. Таким образом, для выполнения этой программы необходимо предварительно описать схему. Иными словами, нельзя просто «подключить и протестировать» микросхему без предварительного написания программы.

- **Время программирования.** Как было отмечено, тестовые программы необходимо корректировать всякий раз, когда конфигурация проверяемой платы изменяется. Это потребует дополнительных временных затрат и отрицательно скажется на стоимости владения.
- **Фиксированная схема коммутации с микросхемой.** На платах с плотным размещением компонентов доступ к микросхеме затруднён, следовательно, как возможность присоединения к ней зажима пробника различными способами, так и допустимость контакта этого зажима с частью другого компонента на плате в процессе тестирования, может быть неопределима. Но поскольку тестовые векторы в архитектуре быстрой памяти жёстко заданы для каждого канала, то для таких систем эти особенности недоступны. Поскольку указанные недостатки систем на архитектуре быстрой памяти видятся значительными, особенно при решении задач поиска неисправностей на плате, тестеры компании построены по другому принципу работы.

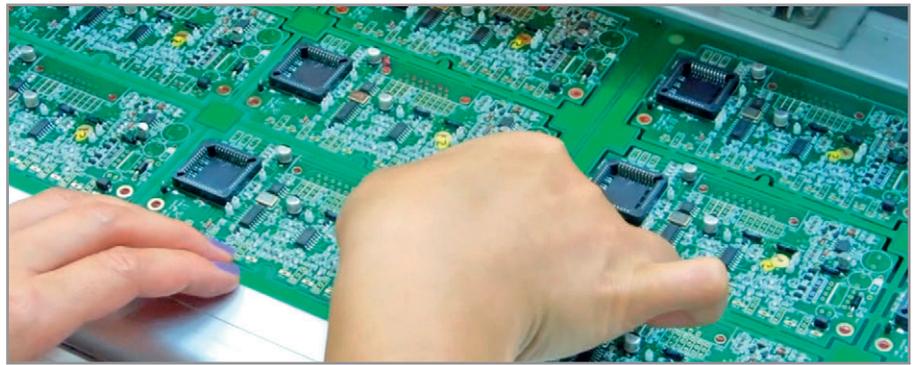
Источники сигналов в архитектуре любого оборудования AVI управляются посредством программного обеспечения. Шаблоны воздействий на тестируемую микросхему и ожидаемых откликов от неё содержатся в тестовой программе высокого уровня, что отличает её от классической последовательности тестовых векторов. В процессе работы программы выходы микропроцессора обеспечивают заданное воздействие на тестируемую микросхему. Запись данных в выходные порты осуществляется посредством специализированной микросхемы. Следовательно, тестовые



векторы генерируются «на лету» в ходе тестирования, а не загружаются в память до его проведения. Этот принцип даёт несколько важных преимуществ:

- **Низкая цена.** Архитектура на специализированной микросхеме, управляемой микропроцессором, позволяет получить многоканальный (до 2048 выводов) тестер по относительно низкой цене. Это достигается благодаря устранению дорогих микросхем памяти и связанной с ними управляющей логики.
- **Размер.** 64-канальный тестер микросхем на архитектуре быстрой памяти невозможно разместить в форм-факторе привода CD-ROM. Использование специализированной микросхемы позволило создать компактную, а, следовательно, портативную систему поиска неисправностей, что справедливо даже для системы с 2048 каналами.
- **Автоматический учёт схемы соединений.** Для примера: если в течение тестирования обнаружится, что вывод подключён к шине земли, тестовая программа изменит свою структуру. Иными словами, тестовая программа автоматически подстраивается под схему соединений микросхемы. Эта функция неоценима при поиске неисправностей на плате, так при её отсутствии почти невозможно получить надёжные результаты. Некоторые системы других производителей используют архитектуру быстрой памяти и, таким образом, ограничены в своих возможностях при поиске неисправностей. Другие – вообще неспособны подстроиться под схему соединений и, проще говоря, являются фактически бесполезными при задаче поиска неисправностей, так как не могут протестировать микросхему функционально.
- **Автоматическое позиционирование зажима.** Тестовая программа также может изменять программные номера своих выводов для того, чтобы обеспечить выбор способа подключения тестового зажима. Он может быть подключён любым способом, даже частично контактируя с другими компонентами, при этом без какого-либо влияния на результаты тестирования. Пришло время сформулировать ответы на озвученные ранее вопросы заказчиков.

«Какова скорость тестирования?» Спецификация микросхемы учитывает допуски и отклонения при их изго-



товлении. Многие из указанных в ней параметров, естественно, могут выйти за пределы указанных ограничений. Таким образом, микросхемы должны быть протестированы, используя высокоскоростное оборудование (по цене более полумиллиона фунтов стерлингов) для отсева образцов, параметры которых не соответствуют спецификации. Оставшиеся микросхемы идут на продажу и затем входят в состав устройств. На момент отгрузки с завода они все исправны и соответствуют своим спецификациям. Однако в дальнейшем микросхемы могут быть повреждены в процессе использования из-за скачков напряжения, перегрева, перегрузки по току или статике. Все эти факторы вызывают внезапные отказы. Менее 2% всех отказов микросхем на плате приходится на проблемы, связанные со скоростью её работы. Таким образом, дополнительная цена оборудования, уплаченная за возможность тестирования микросхемы на полной скорости её работы, не выглядит обоснованной. Приведём пример. Некоторое оборудование для поиска неисправностей может работать на скорости до 10 МГц. Если микросхема 74F74 протестирована на частоте 10 МГц, то её работоспособность в реальной схеме при тактовой частоте в 120 МГц не гарантируется. Таким образом, повышение стоимости оборудования за счёт обеспечения скорости тестирования в 10 МГц необоснованно. Скорость тестирования продукции компании АВІ значительно ниже, но не может быть точно специфицирована, так как тестовая программа модифицируется в процессе тестирования и скорость меняется от микросхемы к микросхеме. Она не зависит от скорости ПК или тактовой частоты тестера. В результате ответ на вопрос может быть сформулирован следующим образом: «Скорость тестирования при поиске неисправностей не имеет существенного зна-

чения, поскольку 98% отказов микросхем от неё не зависит».

«Каков объём памяти на вывод?» Архитектура продуктов компании АВІ имеет практически неограниченный объём эквивалентной памяти, так как тестовые векторы генерируются «на лету» по ходу работы. Рассмотрим в качестве примера задачу тестирования памяти RAM. При использовании тестера на архитектуре быстрой памяти проведение одиночного цикла запись/чтение/сравнение может обеспечиваться 25 тестовыми векторами. Если объём памяти составляет 128К × 8, то весь процесс потребует уже более 13 миллионов тестовых векторов. Эта цифра вытекает из рассмотренного принципа работы систем на архитектуре быстрой памяти. В рассматриваемой архитектуре АВІ написание тестовой программы для решения данной задачи может занимать около 30 минут. Поэтому итоговый ответ на заданный вопрос звучит так: «Эффективная память фактически бесконечна, так как тестовые векторы продолжают генерироваться по ходу тестирования».

В заключение приведём несколько фактов:

- тестеры компании АВІ используют приведённую архитектуру уже более 30 лет;
- функции автоматической компенсации схемы соединений и автоматического позиционирования зажимов были разработаны компанией АВІ в 1984 г.;
- более 98% отказов микросхем возникают внезапно, а более 75% отказов на плате происходят вследствие обрывов или замыканий, но ни те, ни другие факторы не зависят от скорости работы;
- заявленная архитектура позволяет строить гибкие тестовые системы, объединяющие широкий набор инструментов для поиска неисправностей в одном корпусе.



# Контрольные испытания датчиков угловой скорости и кажущегося ускорения

Дмитрий Гаманюк (г. Саратов)

В статье речь идёт о поиске оптимального соотношения периодических и приёмо-сдаточных испытаний (ПСИ) датчиков угловой скорости и кажущегося ускорения, выполненных на основе волоконно-оптических и инерционно-механических приборов. Также освещены методики проверки на ПСИ канала измерения линейного ускорения.

## Постановка задачи проведения контрольных испытаний для обеспечения качества приборов

Контрольными испытаниями называются испытания, проводимые для контроля качества объекта [1].

Однако количество параметров, которые полностью описывают только ключевые характеристики сложного устройства, очень велико, и измерять их все для каждого изготовленного экземпляра либо физически невозможно, либо крайне экономически невыгодно. В результате перед разработчиком программы испытаний стоит сложная задача, заключающаяся в выборе оптимального соотношения между желанием производителя минимизировать затраты на процесс испытаний и стремлением потребителя увериться в соответствии получаемой продукции параметрам, изложенным в конструкторской документации на изделие при минимально возможной его стоимости.

Данный «конфликт» интересов должен быть разрешён таким образом, чтобы все стороны были удовлетворены результатами процесса, который, в противном случае, теряет смысл.

Одним из способов минимизации затрат является введение нескольких категорий контрольных испытаний, необходимость которых установлена межгосударственными и государственными нормативно-техническими документами (НТД), например, ГОСТ 15.309-98 [2].

Достаточно подробно цели, задачи, структура испытаний продукции изложены в одной из статей журнала «Современная электроника» [3]. Здесь же следует добавить, что в современных условиях, когда все тщательно считают деньги, важно найти золотую середину: затратив некую сумму на проведение определённого объёма испытаний, получить достоверное подтверждение

достижения требуемых показателей надёжности.

## Структура и соотношение контрольных испытаний

Основным требованием НТД является необходимость проверки на соответствие продукции всем требованиям ТУ в ходе приёмо-сдаточных и периодических испытаний, а также испытаний, выведенных в самостоятельную категорию.

Приёмо-сдаточные испытания (ПСИ) – это контрольные испытания изготовленной продукции, по результатам которых принимается решение о её пригодности к поставкам и (или) использованию.

Периодическими испытаниями (ПИ) называют контрольные испытания образцов выпускаемой продукции, проводимые через установленные промежутки времени или по мере изготовления определённого объёма продукции с целью контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения её выпуска по действующей конструкторской и технологической документации.

Периодические испытания проводятся после получения положительных результатов приёмо-сдаточных испытаний и занимают значительное время. При этом в ходе периодических испытаний приборы расходуют значительную часть своего ресурса, из-за чего не подлежат дальнейшей поставке покупателю в качестве новых. Отгрузка товара потребителю в начале исполнения договора возможна под положительные результаты квалификационных испытаний после начала периодических, а затем под положительные результаты первых периодических после начала вторых и так далее.

Теоретически можно все параметры прибора проверять в ходе ПСИ, тогда

ПИ проводить не нужно. Однако это приведёт к резкому увеличению времени испытаний, к задержке отгрузки продукции потребителю, серьёзному увеличению её стоимости и расходованию значительной части ресурса. Чтобы избежать этого, контрольные испытания разделяют на категории с разными количеством и методами проверки параметров продукции.

Правильное распределение проверяемых параметров между данными категориями испытаний позволяет:

- оптимизировать временные затраты на проведение ПИ и ПСИ;
- снизить стоимость поставочного договора (за счёт оптимизации стоимости испытаний);
- обеспечить достоверную проверку соответствия качества приборов требованиям КД.

Какие же испытания отнести к категории приёмо-сдаточных, а какие – к категории периодических?

Ни один нормативный документ, в том числе регламентирующий испытания и поставку военной продукции, не даёт ответа на данный вопрос. (Автор будет признателен, если читатели забудут его и подскажут НТД, где установлены требования по перераспределению параметров между категориями испытаний.)

В ГОСТах на этот счёт указано, что объёмы и последовательность испытаний устанавливаются в ТУ. То есть решение данного вопроса полностью отдано на откуп разработчикам. Очевидно, это связано с тем, что приборов, механизмов и устройств – великое множество, и поэтому универсальных рекомендаций быть не может в принципе.

В рекомендуемом приложении ГОСТа [2] сказано, что периодические испытания должны обеспечивать проверку тех параметров продукции, которые зависят от её конструкции и технологии и не зависят от конкретного исполнителя элементов технологического процесса. Параметры, зависящие от исполнителя, должны, таким образом, проверяться в рамках ПСИ.

Иными словами, на краткосрочном этапе ПСИ проверяются «разо-

вые», «несистемные» дефекты, способные возникнуть в результате нарушения технологии. На периодически повторяющемся этапе ПИ проверяется сама «жизнеспособность» конструкции и технологического процесса, применяемого для её воспроизведения.

При решении задачи перераспределения испытаний между этапами (ПСИ и ПИ) будем исходить из этого базового принципа.

Следует также отметить, что очень важной задачей является обеспечение заданных погрешностей измерений при минимальных затратах на испытательное оборудование, что может быть достигнуто только правильным выбором измеряемых параметров и методов их измерения. Однако данная задача выходит за рамки представленной статьи.

### Объект испытаний

В качестве объекта испытаний рассмотрим комбинированный прибор, сочетающий в себе трёхосный волоконно-оптический гироскоп, предназначенный для измерения угловых скоростей движения, и систему инерци-

онно-механических акселерометров для определения кажущегося ускорения, действующего по всем трём осям объекта.

В контуре бортовой системы управления объекта такой прибор выполняет функции датчика (чувствительного элемента), поставляющего информацию об угловой скорости вращения объекта относительно центра масс и линейных ускорений движения самого центра масс. По данной информации бортовой вычислитель формирует управляющие сигналы на исполнительные механизмы в целях обеспечения заданной траектории движения.

Конструктивно объект испытаний представляет собой моноблок (см. рис. 1) в жёстком корпусе с минимальными допусками на посадочные размеры для снижения погрешностей показаний из-за несовпадения осей чувствительности прибора с соответствующими осями объекта.

Выдача информации осуществляется через двунаправленный последовательный интерфейс RS-422 в виде кадра данных размером 32 байта. Частота выдачи данных (такт опроса) составляет от 100

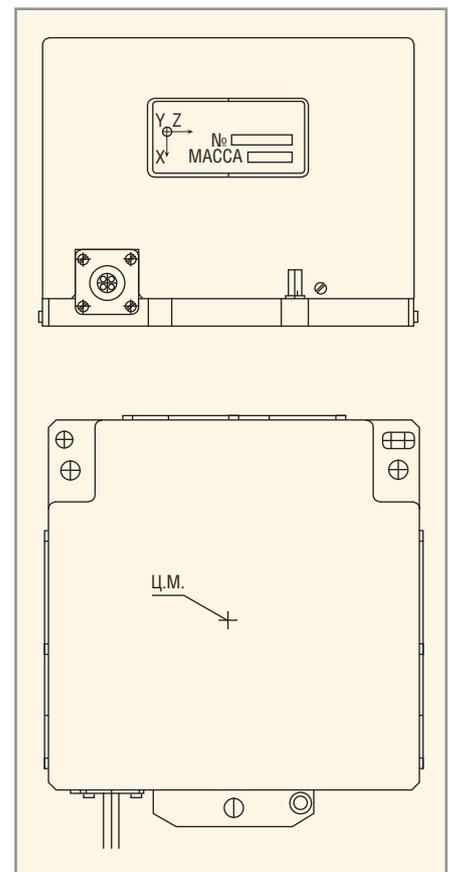


Рис. 1. Эскиз прибора

## Микроволновые Системы

Тел./Факс: +7 (495) 308-95-59  
www.mw-systems.ru

**MWR-135U**

**MWT-160U**

**RocketBridge** – надежное, эффективное и удобное решение для передачи трафика **10 Gigabit/Gigabit/Fast Ethernet**

Измерительный приемник **MWR-135U**

- Полоса анализа 260 МГц
- Фазовый шум -139 дБн/Гц (отстр. 10кГц от 1 ГГц)
- Скорость сканирования 300 ГГц/сек
- Диапазон рабочих частот 200 Гц – 13.5 ГГц
- Чувствительность -166 дБм/Гц
- Динамический диапазон 153 дБ
- Интерфейс вывода данных 10 Гбит/с Ethernet (SFP+)
- ЦОС на основе Kintex-7 с доступом пользователя

Векторный генератор сигналов **MWT-160U**

- Выходная мощность до 2 Вт
- Ширина полосы модулирующих частот (внутренний цифровой baseband-генератор) 560 МГц
- Фазовый шум -139 дБн/Гц (отстр. 10кГц от 1 ГГц)
- Диапазон рабочих частот 200 Гц - 16 ГГц
- Встроенные цифровые виды модуляции M-PSK, M-QAM, OOK, M-ASK, M-FSK, MSK, GMSK, произвольный
- Интерфейс ввода данных и управления 10 Гбит/с Ethernet (SFP+), 1 Гбит/с Ethernet (SFP) - опции

Реклама

© СТА-ПРЕСС

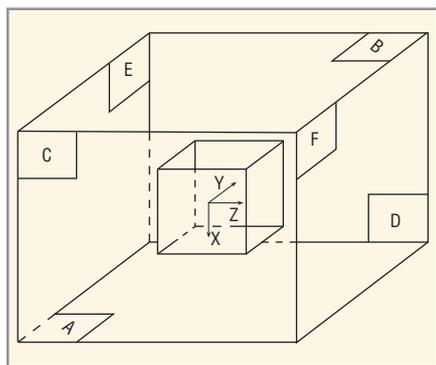


Рис. 2. Кронштейн для установки прибора

до 1500 Гц. Скорость передачи данных по RS-422 от 115 200 до 921 600 бит/с.

Параметры интерфейса и такт опроса задаются при изготовлении прибора в соответствии со спецификацией заказчика.

### Выбор и обоснование проверяемых на испытаниях параметров прибора

Набор параметров, характеризующих технические показатели прибора, зависит от физических принципов реализации измерений и вывода информации.

Угловая скорость вращения вокруг осей чувствительности измеряется с помощью устройства на базе трёх интерферометров Саньяка, расположенных ортогонально по отношению друг к другу. Соответственно здесь применимы характеристики, описывающие волоконно-оптические гироскопы (ВОГ). К таковым в большинстве случаев относятся:

- диапазон линейной зоны измерения угловой скорости;
- случайная составляющая нулевого сигнала в запуске;
- время готовности;
- динамические характеристики прибора (как правило, характеризуются полосой пропускания);
- устойчивость к воздействию внешних воздействующих факторов (ВВФ).

Соответствие данных параметров требованиям заказчика определяется конструкцией (закладывается при проектировании прибора) и технологией его сборки.

Параметры ВОГ, зависящие не только от конструкции и технологии, но и от процесса изготовления (а также настройки и регулировки), следующие:

- масштабный коэффициент;
- систематическая составляющая нулевого сигнала при постоянной температуре;

- отклонение углового положения осей чувствительности каналов угловой скорости относительно системы координат (СК), связанной с посадочной плоскостью прибора;

- погрешность измерения угловой скорости.

Фактически погрешность измерения угловой скорости является интегральным показателем, суммирующим погрешности, вносимые в общий результат измерения прибора всеми его составными частями.

В качестве акселерометров используются готовые приборы различного типа со своим набором характеристик, гарантируемых поставщиком. В соответствующей конструкторской документации указываются следующие параметры:

- диапазон измерения;
- потребляемая мощность;
- отклонение реального значения крутизны выходной характеристики от паспортного значения при различных климатических условиях;
- крутизна выходной характеристики по току;
- нулевой сигнал (постоянная составляющая);
- нелинейность выходного сигнала;
- отклонение реального значения нулевого сигнала от паспортного значения при различных климатических условиях;
- динамические характеристики (полоса пропускания);
- крутизна выходной характеристики датчика температуры.

В составе прибора более высокого уровня эти параметры проверять нет необходимости. Проверяться должны те параметры акселерометров, которые могли измениться в ходе его монтажа, и параметры, связанные с измерением линейного ускорения в составе всего прибора:

- масштабный коэффициент по линейному ускорению;
- погрешность измерения линейного ускорения;
- отклонение углового положения осей чувствительности ИК линейного ускорения относительно СК, связанной с посадочной плоскостью прибора;
- систематическая составляющая нулевого сигнала при постоянной температуре.

Номинальные значения этих параметров определяются конструкцией прибора, а отклонения от номинала – процессом производства.

В данной статье приведены типовые методики проверок канала измерения линейного ускорения, проводимых в ходе ПСИ.

### Объёмы и типовые методики испытаний и проверок на ПСИ канала измерения линейных ускорений

#### Проверка погрешности измерения линейного ускорения каналов БА

Проверку точностных параметров каналов измерения линейного ускорения необходимо проводить с помощью кронштейна, который обеспечивает установку прибора в шесть взаимно перпендикулярных положений. Общий вид кронштейна с закреплённым прибором показан на рисунке 2. Каждое положение кронштейна должно обеспечивать разворот любой измерительной оси прибора на угол 90...° с погрешностью не более ±20...” относительно предыдущего положения.

Опорная плоскость кронштейна, на которую устанавливается прибор, перед началом проверки должна быть выставлена в плоскость местного горизонта с погрешностью не более ±5...”.

#### Проверка погрешности измерения линейного ускорения

Проверку проводят при двух крайних значениях температуры окружающей среды, для которых предназначен прибор, и в нормальных климатических условиях (НКУ). Индекс температуры проверки в формулах обозначается литерой «t». Прибор должен быть выдержан при заданной температуре проверки в выключенном состоянии не менее двух часов.

Суть проверки заключается в измерении кода выходного сигнала с каждого из трёх акселерометров при установке прибора в шести различных взаимно перпендикулярных положениях.

При этом акселерометр, ось чувствительности которого оказывается направленной вертикально (вверх или вниз), измеряет код:

$$P_{\pm lg(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i(t)}}{n}; \quad (1)$$

акселерометры, оси которых параллельны плоскости местного горизонта и на которые, в принципе, не должно действовать никакое ускорение, измеряют код вызванной погрешностью установки:

$$P_{0(t)} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i(t)}}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – число замеров мгновенных значений целочисленного кода по каналам X, Y, Z в течение всего запуска.

По результатам замеров значений целочисленного кода, измеренных прибором по каналам X, Y, Z в шести положениях «А», «В», «С», «D», «Е», «F», для каждой температуры производят расчёт систематической составляющей кода нулевого сигнала каждого измерительного канала по формуле:

$$P_{0(t)} = \frac{P_{01(t)} + P_{02(t)} + P_{03(t)} + P_{04(t)}}{4}, \quad (3)$$

где  $P_{01(t)}$  –  $P_{04(t)}$  – коды выходного сигнала каждого измерительного канала при данной температуре при параллельном расположении осей чувствительности плоскости местного горизонта.

Вычисляют усреднённый целочисленный код реального сигнала каждого измерительного канала, обусловленный действием ускорения  $1g$ , по формуле:

$$P_{\text{реал.}(t)} = \frac{P_{+1g(t)} + |P_{-1g(t)}|}{2} - P_{0(t)}, \quad (4)$$

где  $P_{+1g(t)}$  и  $P_{-1g(t)}$  – коды выходного сигнала, определённые для всех каналов по типовой формуле (1), а  $P_{0(t)}$  – код, обусловленный нулевым сигналом прибора, определённый для каждого канала по типовой формуле (3).

Для каждого измерительного канала определяют истинный целочисленный код, обусловленный действием ускорения  $1g$ , по формуле:

$$P_{\text{ист.}(t)} = P_{\text{реал.}(t)} \cdot \cos \Delta\alpha_{(t)} \cdot \cos \Delta\beta_{(t)}, \quad (5)$$

где  $\Delta\alpha_{(t)}$  – отклонения углового положения осей чувствительности акселерометров каналов X, Y, Z, соответственно, определённые по формуле (8);  $\Delta\beta_{(t)}$  – отклонения углового положения осей чувствительности акселерометров каналов X, Y, Z, соответственно, определённые по формуле (9).

Определяют целочисленный код, обусловленный абсолютной погрешностью измерения линейного ускорения каждого канала, по формуле:

$$P_{a(t)} = P_{\text{реал.}(t)} - P_{\text{ист.}(t)}, \quad (6)$$

Вычисляют погрешности измерения линейного ускорения каждым каналом по формуле:

$$\Delta P_{(t)} = \left| \frac{P_{a(t)}}{P_{\text{ист.}(t)}} \right| \times 100 [\%]. \quad (7)$$

За погрешности измерения линейных ускорений для каждого канала принимаются максимальные значения погрешностей, вычисленные по формуле (7) для всех значений температур.

**Проверка отклонения осей чувствительности измерительных каналов ускорения относительно системы координат, связанной с посадочной плоскостью прибора**

По данным, полученным при выполнении предыдущих расчётов, для каждой температуры и для каждого канала рассчитывают отклонения углового положения оси чувствительности в плоскости плеча маятника (см. рис. 3) по формуле:

$$\Delta\alpha_{x,y,z(t)} = 3437,75 \times \left( \frac{P_{01(t)} - P_{02(t)}}{2} \right) [..]. \quad (8)$$

а отклонения углового положения оси чувствительности в плоскости оси подвеса маятника (см. рис. 3) по формуле:

$$\Delta\beta_{x,y,z(t)} = 3437,75 \times \left( \frac{P_{03(t)} - P_{04(t)}}{2} \right) [..]. \quad (9)$$

Отклонения углового положения осей чувствительности каналов рассчитывают по формулам:

$$\Delta\alpha(\Delta\beta)_{x,y,z} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta\alpha(\Delta\beta)_{x,y,z(t)}}{3} [..]. \quad (10)$$

Результаты, полученные на этапе приёмо-сдаточных испытаний, заносятся в паспорт прибора.

Преимущества и отличия предлагаемых методик от существующих аналогичных заключаются в:

- использовании при вычислениях не величин параметров (масштабный коэффициент, умноженный на код), а кодов, непосредственно считываемых с прибора, то есть в исключении из результатов погрешности, которую даёт неточность масштабного коэффициента;
- взаимном использовании в методиках результатов промежуточных вычислений, то есть в фактически одновременном определении двух параметров (формулы 8, 9 методики 2 используются в методике 1, а формула 2 методики 1 используется в формулах 8, 9 методики 2) – в достижении «методической красоты и элегантности»;

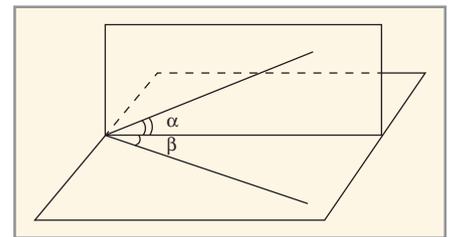


Рис. 3. Углы отклонения осей чувствительности акселерометров

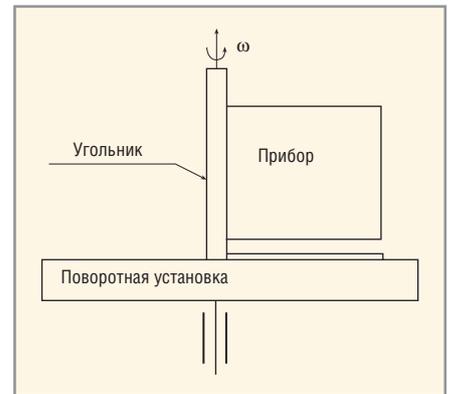


Рис. 4. Поворотная установка с угольником и прибором

- введении понятий «истинный код» и «реальный код», которые как раз и отличаются на величину абсолютной погрешности;
- математическом определении истинного кода через реальный, полученный в результате измерений, с использованием ранее вычисленных промежуточных результатов.

**Проверка номинального значения масштабного коэффициента по линейному ускорению**

Проверку проводят при двух крайних значениях температуры окружающей среды, для которых предназначен прибор, и в НКУ. Индекс температуры проверки в формулах –  $t$ . Прибор должен быть выдержан при заданной температуре проверки в выключенном состоянии не менее 2 часов. При включении прибора проверку начинают после выхода акселерометров в рабочий режим.

Прибор устанавливают на поворотном устройстве (см. рис. 4) таким образом, чтобы ось, перпендикулярная опорной поверхности, имела отклонение от вертикали не более 10 угловых минут в любом направлении. При установке оси «X» прибора таким образом проверяются каналы «Y» и «Z». При установке прибора вертикально оси «Z», проверяется канал «X».

Масштабный коэффициент проверяют на неподвижной платформе и при

вращения платформы поворотного устройства (ПУ) с угловыми скоростями 500, 600, 700, 800, 850... °/с. Вращение прибора с данными угловыми скоростями приводит к воздействию на акселерометр проверяемого канала центростремительных линейных ускорений  $a_{\text{вр}}$  соответственно: 4,57; 6,58; 8,96; 11,70; 13,20 м/с<sup>2</sup> (индекс ускорения – «j»).

Возникновение ускорения обусловлено конструктивным размещением акселерометров вследствие несовпадения оси вращения прибора и вертикальных осей акселерометров.

На неподвижной платформе в течение времени  $T_{\text{н}}$  (не менее 100 с) считают целочисленный код  $P_{\text{н}(t)}$ , несущий информацию о линейном ускорении.

Определяют целочисленный код выходного сигнала, обусловленного действием ускорения свободного падения на ось чувствительности проверяемого канала вследствие установки прибора на платформу с отклонением от плоскости местного горизонта по формуле:

$$P_{\text{yc}(t)} = P_{\text{н}(t)} - P_{\text{a}(t)}. \quad (11)$$

Вычитаемое при этом берётся с учётом знака, где  $P_{\text{a}(t)}$  – целочисленный код, обусловленный абсолютной погрешностью измерения линейного ускорения соответствующего канала, определённый по формуле (6).

Вращают прибор со скоростями, соответствующими указанным ранее линейным ускорениям в положительном и отрицательном (индекс в дальнейших формулах «±») направлении для каждой температуры проверки каждого измерительного канала. При этом фиксируют целочисленные коды, пропорциональные линейному ускорению.

Определяют масштабный коэффициент проверяемого канала для каждого линейного ускорения на каждой температуре проверки при вращении прибора в положительном и отрицательном направлении по формуле:

$$K_{j(t)}^{\pm} = \frac{a_{\text{вр},j}}{P_{j(t)}^{\pm} - P_{\text{yc}(t)}} [M/c^2]. \quad (12)$$

Определяют масштабный коэффициент каждого из каналов при воздействии ускорения 1g по формуле:

$$K_{0(t)} = \frac{g}{P_{\text{ист}(t)}} [M/c^2], \quad (13)$$

где  $g$  – значение ускорения свободного падения на широте рабочего места в размерности [м/с<sup>2</sup>], а  $P_{\text{ист}(t)}$  – истин-

ный целочисленный код, обусловленный действием ускорения 1g, определённый по формуле (5).

Для каждого измерительного канала определяют масштабный коэффициент по линейному ускорению для каждой температуры по формуле:

$$K_{M(t)} = \frac{\sum_{j=1}^5 (K_{(t,j)}^+ + K_{(t,j)}^-) + K_{0(t)}}{11} [M/c^2]. \quad (14)$$

Рассчитывают значения масштабного коэффициента  $K_M$  измерительных каналов в рабочем диапазоне температур (паспортизуемые значения) по формуле:

$$K_M = \frac{\sum_{t=1}^3 K_{M(t)}}{3} [M/c^2]. \quad (15)$$

Значения  $K_M$ , определённые на этапе приёмо-сдаточных испытаний, заносятся в паспорт.

Представлена принципиально новая методика, позволяющая использовать:

- только уже существующее и освоенное испытательное оборудование – поворотную установку испытаний ВОГ – унификация испытательного оборудования;
- особенности конструктивного расположения акселерометров внутри прибора – несовпадение вертикальных оси вращения прибора и осей акселерометров, приводящие к возникновению при вращении поворотной установки центростремительного ускорения, которое и измеряет акселерометр. В итоге конструктивные особенности компоновки прибора позволяют облегчить измерение одного из его параметров.

Рассчитав и определив с помощью прибора значения центростремительного ускорения, можно с высокой точностью получить его масштабный коэффициент по линейному ускорению.

### Проверка систематической составляющей нулевого сигнала акселерометров

Под систематической составляющей нулевого сигнала в данном испытательном запуске, при заданной ориентации прибора, понимают среднее значение измеряемого линейного ускорения за время запуска.

Проверку проводят в двух запусках длительностью четыре часа каждый, при двух крайних значениях температуры окружающей среды, для которых предназначен прибор, и в НКУ. Ось

чувствительности проверяемого канала в каждом запуске должна быть параллельна плоскости горизонта с погрешностью не более ±20 угловых секунд. При этом во втором запуске она должна быть развёрнута на угол 180...° относительно положения в первом запуске.

В первом и втором запусках измеряют усреднённые за 100 с значения величины линейного ускорения  $a_{\text{спjX}(Y,Z)}$  [м/с<sup>2</sup>] и мгновенные значения величины линейного ускорения  $a_{\text{ix}(Y,Z)}$  [м/с<sup>2</sup>].

Кронштейн с закреплённым прибором устанавливают на установочную плоскость «А» (см. рис. 2), что соответствует первому запуску при проверке каналов Y, Z.

Усреднённые за 100 с значения величины линейного ускорения  $a_{\text{спjX}}$ ,  $a_{\text{спjZ}}$  [м/с<sup>2</sup>] и мгновенные значения величины линейного ускорения  $a_{\text{iy}}$ ,  $a_{\text{iz}}$  [м/с<sup>2</sup>] измеряют на каждой температуре в течение четырёх часов.

Средние значения измеренного каналами Y, Z линейного ускорения при установке кронштейна на плоскость «А» для первого запуска для каждой температуры рассчитывают по формуле:

$$A_{0Y,Z} = \frac{\sum_{n=1}^n a_{iy,Z}}{n} [M/c^2], \quad (16)$$

где  $n$  – число замеров мгновенных значений величины линейного ускорения, измеренных прибором по каналам Y, Z в течение всего запуска.

Затем прибор отключают и выдерживают при заданной температуре не менее двух часов.

Устанавливают кронштейн с закреплённым прибором на установочную плоскость «В» (см. рис. 2), что соответствует второму запуску при проверках каналов Y, Z.

Усреднённые за 100 с значения величины линейного ускорения  $a_{\text{спjY}}$ ,  $a_{\text{спjZ}}$  [м/с<sup>2</sup>] и мгновенные значения величины линейного ускорения  $a_{\text{iy}}$ ,  $a_{\text{iz}}$  [м/с<sup>2</sup>] измеряют в течение четырёх часов.

Для каждой температуры рассчитывают средние значения измеренного каналами Y, Z линейного ускорения при установке кронштейна на плоскость «В» для второго запуска по формуле (16).

Далее рассчитывают значение систематической составляющей нулевого сигнала каналов Y, Z измерения линейного ускорения по двум запускам для каждой температуры по формуле:

$$A_{0Y,Z(t)} = \frac{A_{0Y,Z1(t)} + A_{0Y,Z2(t)}}{2} [M/c^2], \quad (17)$$

где  $A_{0Y1(t)}$ ,  $A_{0Y2(t)}$ ,  $A_{0Z1(t)}$ ,  $A_{0Z2(t)}$  – средние значения измеренного каналами Y, Z линейного ускорения в первом и во втором запуске на каждой температуре проверки.

Кронштейн с закреплённым прибором помещают на установочную плоскость «С» (см. рис. 2), что соответствует первому запуску при проверке канала X.

Проводят работы, аналогичные только что описанным, и проводят расчёты по типовым формулам (16) – (17) для первого запуска при проверке канала X.

Прибор отключают и выдерживают при заданной температуре не менее двух часов.

Кронштейн с закреплённым прибором помещают на установочную плоскость «D» (см. рис. 2), что соответствует второму запуску при проверке канала X.

Далее проводят работы по уже описанному сценарию и расчёты по типовым формулам (16) – (17) для второго запуска при проверке канала X.

Значения систематической составляющей нулевого сигнала каналов X, Y, Z измерения линейного ускорения рассчитывают по формуле:

$$A_{0X(Y,Z)} = \frac{\sum_{i=1}^3 A_{0X(Y,Z)(i)}}{3} [m/c^2]. \quad (18)$$

Значение систематической составляющей нулевого сигнала, определённое на этапе приёмо-сдаточных испытаний, заносится в паспорт.

Отличие предлагаемой методики заключается в одновременном съёме и обработке информации с двух информационных каналов (в данном случае Y и Z), то есть в снижении времени данной проверки в полтора раза (два цикла запусков вместо трёх).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье была осуществлена постановка задачи оптимального распределения объёма испытаний приборов между категориями испытаний. Были рассмотрены параметры, характеризующие данный тип измерительных приборов. Предложено перераспределение объёмов испытаний между категориями. Предложены типовые методики испытаний каналов измерения линейных ускорений на этапе ПСИ.

Во второй статье данного цикла предполагается провести расширенное обоснование влияния конструкции, технологии, а также соблюдения технологической дисциплины на характеристики готового прибора и, следовательно, на содержание объёмов ПИ и ПСИ. Кроме того, предложены типовые проверки каналов измерения линейных ускорений, выполненных на основе ВОГ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
2. ГОСТ 15.309-98. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приёмка выпускаемой продукции. Основные положения.
3. Гаманюк Д.Н. Испытания электротехнических и электронных изделий. Современная электроника. 2011. № 4.
4. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. ©




## Один прибор. Множество инструментов.

**ШИРОКИЙ СПЕКТР ИЗМЕРЕНИЙ С ОТЛИЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.**

Системы сбора данных/коммутации Keysight 34970A и 34972A – это компактные и экономичные одноблочные решения для регистрации данных, а также несложных прикладных задач коммутации и управления. Они предлагают Вам встроенный 6½-разрядный мультиметр, высокое качество коммутации и ультранизкий уровень шума. Таким образом, Вы сможете использовать их для измерения множества сигналов с прецизионной точностью для широкого спектра задач, даже при работе в условиях экстремально высоких уровней внешних электромагнитных шумов.

**Системы сбора данных/коммутации Keysight 34970A и 34972A**

- 6½ разряда (22 бита) с ультранизким шумом (коэффициент ослабления синфазного сигнала: 140 дБ)
- Встроенный обработчик сигналов, поддерживающий 11 измерительных функций
- До 60 дифференциальных измерительных каналов
- До 300В постоянного/переменного тока
- До 32 Мб энергонезависимой памяти
- Поддержка ПО BenchVue для контроля, визуализации и анализа данных




Регистрация данных и визуализация с ПО BenchVue.



Только до 31 декабря 2015 года регистрируя приобретенный лабораторный прибор - генератор сигналов, цифровой мультиметр или систему сбора данных, Вы получаете лицензию на программное обеспечение BenchVue PRO бесплатно.

Реклама

«ЭрисКом» - официальный дистрибьютор Keysight Technologies в России.

Тел./Факс: +7 (499) 218-2353  
www.eriscom.ru / info@eriscom.ru



ственного увеличения общего объёма конвертера, но также могут иметь и большое число вариантов реализации. Поэтому, хотя часть излагаемых далее рекомендаций являются полезными для однотактных конвертеров вообще, все дальнейшие рассуждения будут касаться проблем стабилизации только в наиболее простых и эффективных устройствах, описанных в уже упомянутой статье [1], для которых создание настолько же эффективных и простых цепей стабилизации является относительно сложной задачей.

Общую проблему создания оптимальных цепей стабилизации в AC/DC-конвертерах можно разбить на две части, каждая из которых требует отдельного решения. Это:

1. Устойчивость;
2. Минимальное число элементов и минимальная потребляемая мощность.

## Устойчивость

Очевидно, что любой стабилизированный конвертер представляет собой устройство с отрицательной обратной связью. Естественно, что для обеспечения устойчивости таких устройств справедливы те же рекомендации, которые относятся к любым усилительным четырёхполюсникам, охваченным отрицательной обратной связью. В том числе при разработке цепей стабилизации должны учитываться те же требования, которые относятся к устойчивым усилительным устройствам с ООС, хотя автоколебательный конвертер по основной выполняемой функции является генератором, а не усилителем. Однако при введении в конвертер цепи общей отрицательной связи для стабилизации выходных параметров вдобавок к основной функции он превращается в усилитель сигнала обратной связи.

Как известно, условием устойчивого функционирования цепи обратной связи является её однополюсная АЧХ, вплоть до единичного коэффициента передачи в петле усиления сигнала. Хотя нарушение этого условия не сопровождается столь катастрофическими последствиями, как в усилительных устройствах вследствие ключевого режима работы части узлов конвертера, который не позволяет развиваться глубокой неустойчивости, тем не менее самовозбуждение в цепи стабилизации конвертера также нежелательно, поскольку оно спо-

собствует нерегулярной работе автоколебательной секции, вследствие чего может ухудшиться КПД устройства, а также возможен рост уровня высокочастотных пульсаций. Кроме этого существенно увеличивается плотность излучаемых конвертером помех.

Рассмотрим более подробно цепь стабилизации конвертера (см. рис. 1), выбранного в качестве прототипа. Для определения коэффициента усиления в петле обратной связи для начала выясним, как оценить коэффициент передачи по напряжению генерирующего преобразовательного каскада. Для этого поступим следующим образом. Очевидно, что выходное напряжение автоколебательного каскада напрямую определяется падением на эмиттерном резисторе ключевого транзистора: если это падение максимально, то и выходная мощность конвертера максимальна, а если оно равно нулю, то выходное напряжение конвертера также равно нулю. Максимальное напряжение на резисторе R6, соответствующее максимальной мощности на выходе конвертера (см. рис. 1), равно примерно 0,7 В. То есть при изменении напряжения на базе VT2 на такую величину выходная мощность конвертера и, соответственно, выходное напряжение при постоянной нагрузке изменяется от нуля до максимума. Откуда

$$k_n = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых}}}{0,7V},$$

где  $U_{\text{вых}}$  – это выходное напряжение конвертера в режиме максимальной мощности. Следует отметить, что этот коэффициент учитывает наличие всех элементов от базы VT2 до выходных клемм конвертера, в том числе и наличие в схеме трансформатора.

Теперь уберём условно из схемы конденсатор фильтра C5, поскольку нас интересует усиление в петле на очень низких частотах, на которых ёмкость этого конденсатора не имеет значения, а также стабилитрон VD10 для размыкания петли обратной связи, после чего на базу транзистора VT3 подадим малый сигнал от низкоомного источника переменного тока.

В таком случае ток, втекающий в диод оптрона, будет примерно равен

$$I_o \approx \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{R9 + r_s} B_{\text{cmVT3}}, \quad (1)$$

где  $B_{\text{cmVT3}}$  – малосигнальный коэффициент усиления тока соответствующего

транзистора, а  $r_s$  – малосигнальное сопротивление эмиттера, равное у маломощных транзисторов единицам Ом, R9 – сопротивление соответствующего резистора на рисунке 1.

С учётом коэффициента передачи CTR оптрона по току, втекающий в базу VT1 ток будет равен значению, полученному в (1), умноженному на CTR. Транзисторы VT1 и VT2 охвачены внутренней обратной связью, поэтому, не вдаваясь в подробности, можно записать, что коэффициент передачи по току от базы VT1 до базы VT2 составляет

$$\Delta U_{\text{GVТ2}} = \text{CTR} \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{R9 + r_s} B_{\text{cmVT3}} R4.$$

При этом общий коэффициент передачи в петле стабилизации устройства, показанного на рисунке 1, составит ориентировочно

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{вх}}} = \text{CTR} \frac{R4 B_{\text{cmVT3}}}{R9 + r_s} k_n.$$

Допустим, что выходное напряжение данного устройства – 5 В, а коэффициент усиления тока транзистора VT3 равен примерно 100. CTR для оптрона в общем случае зависит от величины его рабочего тока. В данном примере примем его равным 1. В таком случае, с учётом номиналов резисторов, показанных на рисунке 1, коэффициент усиления в петле стабилизации получается равным примерно  $15-20 \times 10^3$ . Следует отметить, что хотя полученное значение является весьма приблизительным, тем не менее можно утверждать, что усиление в данном устройстве обязательно будет очень большим. Очевидно, что такое усиление является совершенно бесполезным, поскольку стабильность выходного напряжения рассматриваемого конвертера будет определяться не усилением в петле обратной связи, а нестабильностью входящих в неё элементов – в основном, температурной нестабильностью стабилитрона VD10 и базо-эмиттерного перехода VT3.

Однако столь высокое усиление в петле стабилизации оказывается не только бесполезным, но и вредным, поскольку способствует безусловному возникновению неустойчивости вследствие наличия в петле стабилизации низкочастотного элемента, каковым является оптрон. Частота среза коэффициента передачи этого элемента даже при больших токах

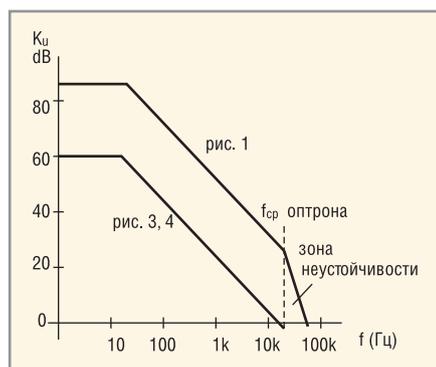


Рис. 2. АЧХ конвертеров, схемы которых представлены на соответствующих рисунках

и нагрузке в 100 Ом обычно не превышает 100 кГц, а при малых токах и нагрузке большего номинала снижается до десятков и единиц килогерц. При этом следует учесть, что в рассматриваемом устройстве величина тока оптрона обратно пропорциональна выходной мощности. С учётом имеющихся данных можно построить диаграмму Боде (см. рис. 2).

Очевидно, что наиболее близким к режиму неустойчивости будет случай, когда сопротивление нагрузки имеет минимальное значение, что соответствует максимальной мощности на выходе конвертера, поскольку в этом состоянии частотные характеристики оптрона будут наихудшими.

Следует отметить, что основной полюс АЧХ практически всегда определяется произведением ёмкости конденсатора фильтра на сопротивление нагрузки (при П-образном фильтре частота первого полюса определяется суммой ёмкостей обоих конденсаторов). При этом если в качестве фильтра используются электролитические конденсаторы, то частота первого среза АЧХ всегда получается очень низкой, поскольку электролитические конденсаторы выбираются исходя не из рабочей частоты конвертера, а по допустимому импульсному току и амплитуде пульсаций на внутреннем сопротивлении конденсатора. Поэтому в таком случае частота среза оказывается настолько низкой, что проблем с устойчивостью при использовании простого ёмкостного фильтра обычно не возникает и коэффициент в петле ОС может быть достаточно большим. Например, для конвертера, показанного в начале статьи, при частоте среза АЧХ оптрона 20 кГц и частоте среза выходного ёмкостного фильтра 10 Гц усиление при сохранении устойчивости может достигать 2000.

Очевидно, что такое усиление в петле стабилизации позволяет обеспечить конвертеру очень неплохие характеристики по стабильности выходного напряжения или тока. Однако в настоящее время в качестве фильтра в преобразователях иногда используются керамические конденсаторы большой ёмкости, внутреннее сопротивление которых пренебрежимо мало. В таком случае, по сравнению с электролитическими конденсаторами при той же величине пульсаций, ёмкость конденсатора фильтра может быть намного меньшей. Соответственно частота первого среза АЧХ оказывается весьма высокой, вследствие чего приходится считать с ограниченной полосой пропускания оптрона. При этом предельное значение коэффициента стабилизации с учётом создаваемого им второго полюса АЧХ при сохранении устойчивости может оказаться неприемлемо малым.

Сложности могут возникнуть также при использовании в качестве усилителя ОС стандартных операционных усилителей, особенно микромощных, поскольку частота основного полюса таких устройств без ОС может составлять единицы и даже доли герца. Поэтому при применении таких усилителей в цепях стабилизации импульсных источников для соблюдения условий устойчивости их усиление должно быть ограничено с помощью местной ООС. В таком случае максимально возможный коэффициент стабилизации при использовании ОУ с собственной однополюсной АЧХ и при сохранении устойчивости конвертера не может превысить значение

$$K_{CT} \leq \frac{1}{K_{nc}} \sqrt{\frac{f_{cp,ou} K_{u0}}{2\pi C_{\phi} R_{nmin}}}$$

где  $f_{cp,ou}$  – малосигнальная частота среза ОУ,  $K_{u0}$  – коэффициент усиления ОУ на постоянном токе без ООС,  $C_{\phi}$  и  $R_{nmin}$  – ёмкость фильтра конвертера и минимальное сопротивление нагрузки,  $K_{nc}$  – коэффициент передачи по напряжению остальных элементов петли стабилизации.

Здесь необходимо обратить внимание на тот факт, что изложенные рекомендации относятся в равной степени не только к AC/DC-конвертерам, но и к DC/DC-преобразователям. При этом следует отметить, что, к сожалению, они соблюдаются далеко не во всех промышленных интегральных конвертерах, поскольку в настоящее

время считается, что чем больше транзисторов в устройстве, тем оно лучше. Поэтому в качестве усилителя обратной связи в интегральных преобразователях зачастую используется операционные усилители, причём – для повышения общей экономичности – микромощные. В результате избыток усиления в цепях стабилизации приводит к неустойчивости и, как следствие, к нестабильному переключению ключевого транзистора, из-за чего на первичной обмотке трансформатора таких устройств наблюдается неприятная хаотическая картина с импульсами нестабильной длительности как в цикле заряда индуктивности, так и в состоянии её разряда.

Такая неустойчивость слабо отражается на выходных характеристиках конвертеров, в которых в качестве ключевых используются полевые транзисторы. Существенно возрастает, в основном, лишь плотность ВЧ-помех, создаваемых преобразователями. Однако следует учитывать: то, что допустимо для ключевых полевых транзисторов, способных формировать почти сколь угодно короткие импульсы без увеличения потерь при переключении, неприемлемо для биполярных транзисторов, минимальная длительность импульса у которых должна быть намного больше времени рассасывания заряда в коллекторной и базовой областях. Поэтому неустойчивость цепей стабилизации в конвертерах, использующих биполярные ключевые транзисторы, особенно нежелательна.

Следует отметить, что при использовании П-образного сглаживающего фильтра на выходе конвертера обеспечить его устойчивость при замыкании петли стабилизации с выхода возможно только при очень малом усилении в петле из-за близкого расположения обоих полюсов АЧХ такого фильтра. Поэтому в таком случае возможны два варианта. При использовании конденсаторов одинаковой ёмкости в фильтре более целесообразным является замыкание петли стабилизации не с выхода конвертера, а с первого конденсатора фильтра, поскольку нестабильность за счёт внутреннего сопротивления дросселя фильтра при изменении тока нагрузки может давать меньшую нестабильность, чем та, которая будет обусловлена малым допустимым коэффициентом усиления в петле при замыкании обратной связи с выхода П-образного фильтра. Другой

вариант заключается в использовании выходного конденсатора в несколько раз меньшей ёмкости по сравнению с первым. При этом второй полюс существенно отодвигается в сторону верхних частот и коэффициент усиления в петле обратной связи может быть сделан достаточно большим (фактически он может быть увеличен во столько же раз, во сколько раз уменьшена ёмкость выходного конденсатора). Но при этом следует увеличивать ёмкость первого конденсатора фильтра для сохранения частоты первого полюса АЧХ, что не всегда приемлемо.

Другим важным обстоятельством, влияющим на устойчивость работы конвертеров, являются пульсации напряжения на входе петли стабилизации. Следует учитывать, что пульсации выходного напряжения в конвертерах рассматриваемого типа являются однополярными, всегда направленными в сторону возрастания выходного напряжения, а их амплитуда может достигать единиц вольт.

Поэтому построение входного усилителя цепи обратной связи таким образом, как это показано на рисунке 1,

является нежелательным, поскольку напряжение пульсаций прикладывается фактически напрямую к базовому переходу VT3, что может не только через цепь обратной связи на неопределённое время полностью отключать ключевой транзистор вследствие перегрузки элементов обратной связи, нарушая режим автоколебаний, но и способно привести к выходу транзистора VT3 из строя. Поэтому для защиты этого транзистора последовательно с его базой обычно включают резистор небольшого (30–100 Ом) номинала. Однако такое решение не может полностью устранить проблему.

Лучшим решением является использование на входе усилителя стабилизации неперегружаемого усилительного каскада. В качестве примеров реализации можно предложить либо усилитель с дифференциальным входом, либо усилитель с подачей сигнала через прямосмещённый диод в обратном направлении. Именно такой вариант входного каскада используется в стабилизированных конвертерах, схемы которых представлены на рисунках 3 и 4. Применение таких каскадов

позволяет полностью исключить влияние цепи стабилизации на режим работы автоколебательной секции конвертера, кроме управления её выходной мощностью.

### МИНИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ И МИНИМАЛЬНАЯ ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ

Как следует из названия этого раздела, кроме обеспечения нужной стабильности и устойчивости при разработке цепей стабилизации для конвертеров, описанных в статье «Сравнительные испытания ключевых транзисторов разного типа» [1], решались ещё две задачи.

Во-первых, цепи стабилизации должны быть максимально простыми и содержащими минимум элементов, чтобы ни в коем случае не усложнить схемы самих конвертеров. Естественно, такое требование автоматически исключает распространённый в интегральных AC/DC-конвертерах вариант цепи стабилизации с использованием дополнительной обмотки на трансформаторе (такой вариант используется, например, в интегральных конвертерах

# PROCHIP

POWERED BY PROSOFT

## Активный компонент вашего бизнеса

- + Различные решения по подбору элементной базы
- + Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- + Поддержка склада
- + Оказание технической и информационной поддержки



+7 (495) 232-2522  
INFO@PROCHIP.RU  
WWW.PROCHIP.RU



Реклама

BULGIN

Grayhill

HARTING  
Pushing Performance

SHARP

anadigm

HUMMEL  
MPS  
MicroSiC Power Systems

SEMILEDs  
RFHIC  
www.rfhic.com

CREE

LUMINEO  
POWERED BY BENEQ  
Formerly known as PowerLED Alliance

AVO

XP XP Power

MICROMETALS

APBЕAOC

RAYSTAR  
OLED Display Provider  
PHILIPS LUMILEDS

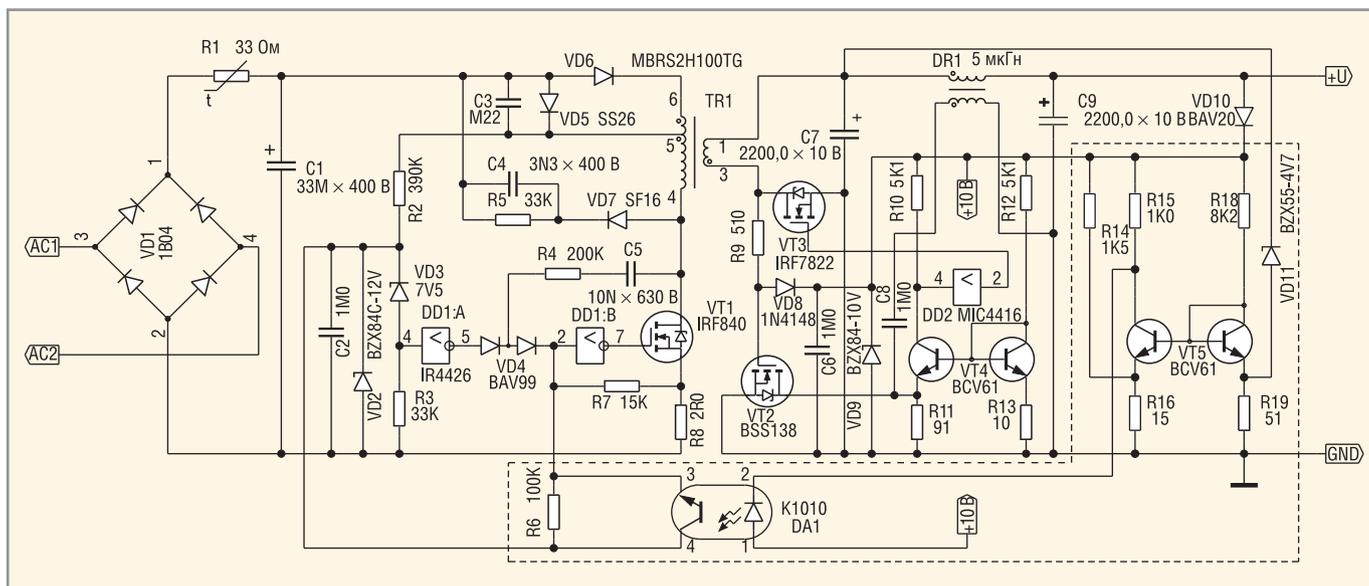


Рис. 3. Схема сетевого стабилизированного конвертера с ключевым полевым транзистором в высоковольтной секции

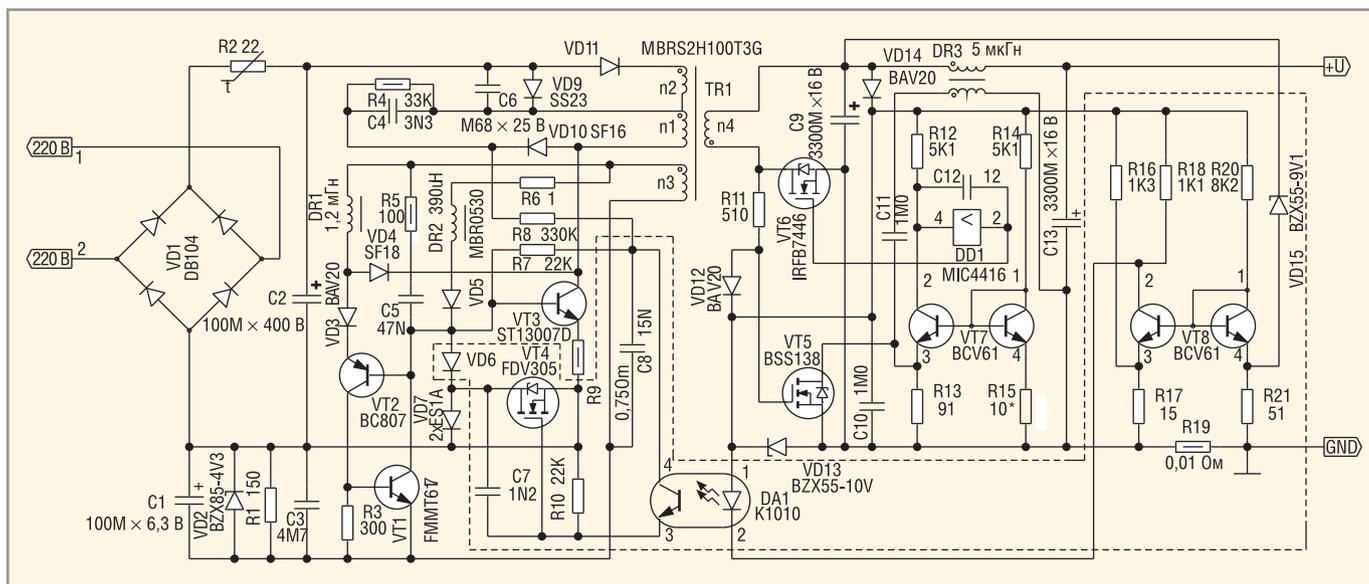


Рис. 4. Схема сетевого стабилизированного конвертера с биполярным транзистором, используемым в качестве высоковольтного силового ключа

типа TOP221 – 227), поскольку дополнительная обмотка на трансформаторе усложняет не только трансформатор, но и конвертер в целом, что является наихудшим вариантом решения поставленной задачи.

Во-вторых, цепи стабилизации необходимо выполнить так, чтобы они не увеличивали собственный начальный ток смещения самого конвертера, ухудшая его КПД, поскольку у конвертеров, предложенных в упомянутой статье [1], этот ток крайне мал (1 мА и менее), а их собственные потери настолько невелики (разумеется, только при соблюдении рекомендаций, изложенных в статье [1]), что увеличение тока начального смещения заметно отражается на общих потерях. Иными словами, кроме входного усилителя вся остальная цепь обратной связи долж-

на быть фактически пассивной, то есть не содержащей дополнительных источников питания в высоковольтной секции преобразователя.

С учётом перечисленных требований для нестабилизированных конвертеров, описанных в статье [1], были разработаны оптимальные цепи стабилизации (см. рис. 3 и 4). Наличие представленных на этих рисунках цепей обратной связи позволило обеспечить нестабильность обоих устройств, не превышающую 1%, при одновременном воздействии всех дестабилизирующих факторов (изменение напряжения в сети на 30% и изменение выходного тока от нуля до максимума) при максимальной выходной мощности 30 и 70 Вт соответственно.

Как видно из схем на рисунках 3 и 4, существенное увеличение выходной

мощности повлияло не только на структуру автоколебательной и выпрямительной секций конвертеров по сравнению с прототипом, показанном на рисунке 1, но и потребовало существенного изменения структуры цепей стабилизации. Особенно это заметно на примере конвертера с биполярным транзистором, используемым в качестве высоковольтного силового ключа (см. рис. 3).

Наиболее простой вариант цепи стабилизации разработан для преобразователя с ключевым полевым транзистором в высоковольтной секции. Элементы цепи стабилизации конвертера такого типа, показанного на рисунке 4, охвачены пунктирной линией. Простая структура цепи стабилизации объясняется тем, что собственный коэффициент усиления полевых транзисторов

по мощности и их входное сопротивление очень велики, а поэтому в цепи стабилизации можно использовать весьма высокоомные нагрузки. Коэффициенты же усиления по напряжению в цепи стабилизации получаются достаточно большими при минимальном количестве усилительных элементов, а кроме этого отсутствует необходимость дополнительного усиления сигнала стабилизации по току. Вдобавок, в таком конвертере в цепи обратной связи отсутствуют элементы, к которым приложено знакопеременное напряжение, а это дополнительно упрощает её структуру.

Вследствие всех этих особенностей и, особенно, высокого входного сопротивления всех усилительных элементов в первичной секции преобразователя, для эффективной работы выходного каскада цепи стабилизации вполне достаточно небольшой части начального тока смещения, задаваемого резистором R2. Резисторы R6 и R7 совместно с резистором R8 задают величину максимального тока через первичную обмотку трансформатора. В схеме, в отличие от большинства интегральных конвертеров, используется двухобмоточный трансформатор (отвод у первичной обмотки предназначен для уменьшения потерь за счёт индуктивности рассеяния трансформатора, что в общем случае полезно использовать и в интегральных преобразователях для улучшения их КПД и уменьшения амплитуды выбросов напряжения при размыкании ключевого транзистора).

Значительно более сложной в разработке оказалась цепь стабилизации для конвертера с автогенератором на биполярном транзисторе. Однако преимущества такого конвертера, по сравнению не только с предыдущим, но и с любым известным нам интегральным конвертером, по уровню собственных потерь настолько велики, что целесообразность разработки не вызывала никаких сомнений. Результат разработки выделен на рисунке 4 пунктирной линией. Как видно, до транзистора оптрона схема стабилизации идентична предыдущему конвертеру. Однако в первичной секции конвертера имеются существенные отличия. Во-первых, единственная точка, куда можно подать сигнал обратной связи (база VT3), в данном случае является весьма низкоомной и через неё протекают токи в сотни миллиампер. К тому же напряжение на базе этого транзистора явля-

ется знакопеременным и имеет относительно большую амплитуду (несколько Вольт). При этом в схеме нет никаких дополнительных источников для обеспечения достаточной мощности на выходе цепи стабилизации. Вдобавок, остаточное напряжение на выходном элементе цепи стабилизации не должно превышать примерно 0,5 В, чтобы он мог гарантированно запирать ключевой транзистор на время запрета автоколебаний (например, при отсутствии нагрузки на выходе конвертера). Следовательно, транзистор Дарлингтона в качестве выходного каскада цепи обратной связи применить нельзя из-за большого падения на нём в открытом состоянии (более 0,7 В).

В таких условиях, видимо, единственным возможным решением является применение усилительного каскада на МОП-транзисторе средней мощности с достаточно малым сопротивлением в открытом состоянии. Однако все усилительные приборы такого типа не допускают обратного напряжения между стоком и истоком, вследствие чего между этими электродами всегда встраивается защитный обратносмещённый диод (стабилитрон). Поэтому при непосредственном включении полевого транзистора между общей шиной и базой VT3 перестают функционировать транзисторы VT1 и VT2, шунтируемые встроенным в VT4 диодом, а это полностью лишает автоколебательную секцию конвертера её преимуществ. Следовательно, для предотвращения шунтирования необходимо последовательно со стоком VT4 включить прямосмещённый диод. Однако при использовании обычного выпрямительного кремниевого диода суммарное напряжение в открытом состоянии на VT4 и защитном диоде превышало бы допустимые 0,5 В. Поэтому в качестве защитного диода VD8 применён диод Шоттки. В рассматриваемой схеме питание цепи затвора МОП-транзистора также осуществляется от цепи начального смещения. Такая структура цепи стабилизации не только обеспечивает превосходную стабильность конвертера, но и может быть использована в преобразователях аналогичного типа практически любой мощности. Следует отметить, что усиление в петле обратной связи в обоих конвертерах, изображённых на рисунках 3 и 4, несмотря на отличия по структуре, примерно одинаково, поскольку произведение малосигналь-

ной крутизны VT4 на входное сопротивление VT3 примерно равно 1. При этом коэффициент усиления в петле ОС не превышает  $10^3$ , что вполне хватает для обеспечения и достаточной стабильности, и абсолютной устойчивости при условии подачи сигнала обратной связи на вход усилителя с первого конденсатора П-образного фильтра. Диаграммы, иллюстрирующие примерные зависимости усиления от частоты для обоих конвертеров, представлены на рисунке 2.

В заключение следует обратить внимание на функции диодов VD10 на рисунке 3 и VD14 на рисунке 4. Эти диоды необходимы для поддержания рабочего состояния элементов вторичной секции и цепи стабилизации в случае отключения нагрузки. В таком состоянии цепь стабилизации должна полностью выключить автоколебания. Но поскольку конденсаторы фильтра C9 и C13 имеют очень большую ёмкость, постоянная их разряда может исчисляться секундами, в то время как постоянная времени вспомогательного источника питания элементов вторичной секции (VD12, VD13 и C10 на рисунке 4) при отсутствии автоколебаний не превышает нескольких миллисекунд, а схема стабилизации не может функционировать без питания. Поэтому без этих диодов при отключении нагрузки может возникнуть аварийный режим. Однако при их использовании следует соблюдать следующее условие: напряжение стабилизации стабилитрона VD13 должно быть не меньше максимального выходного напряжения конвертера. Такая структура вторичной секции делает конвертер более универсальным, так как он одинаково стабильно работает и без нагрузки на выходе, и при коротком замыкании в режиме стабилизации тока. Если же режим короткого замыкания на выходе невозможен, то при достаточно большом выходном напряжении конвертера, достаточном для надёжного переключения VT6, можно обойтись без этих диодов и без дополнительного источника, используя для питания всех элементов вторичной секции конвертера непосредственно его выходное напряжение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грошев В.Я. Сравнительные испытания ключевых транзисторов разного типа. Радиолоцман. 2014. №12. С. 28–35. [www.rlocman.ru/book/book.html](http://www.rlocman.ru/book/book.html).



# Электрическая схема с коммутирующими IGBT-транзисторами для газоразрядных ламп

Юрий Мандрыко (Санкт-Петербург)

В статье приведено описание разработанной и испытанной электрической схемы накачки импульсных ксеноновых ламп с коммутирующими IGBT-транзисторами и указаны её достоинства.

## ВВЕДЕНИЕ

Импульсные источники света на основе импульсных ксеноновых ламп (ИКЛ) широко применяются в различных областях: лазерной технике, сварке, медицине, косметологии, светотехнике и в ряде других. Эффективность преобразования электрической энергии, поступающей в импульсную ксеноновую лампу от электрической схемы накачки, в энергию излучения ИКЛ определяет коэффициент полезного действия (КПД) самой лампы. Эффективность работы ИКЛ в источниках света зависит от режима работы электрической схемы накачки. Эффективные режимы работы ИКЛ характеризуются высоким коэффициентом полезного действия лампы. За последнее вре-

мя произошло радикальное расширение элементной базы электроники, что обусловило создание принципиально новых электрических схем накачки, позволяющих реализовать различные эффективные режимы работы импульсной ксеноновой лампы, отличающиеся формой, амплитудой и длительностью импульсов электрической мощности, поступающей в лампу. Поэтому целью настоящей статьи является рассмотрение разработанной и испытанной электрической схемы накачки, позволяющей реализовать различные режимы работы импульсной ксеноновой лампы при её улучшенной управляемости (см. рис. 1). Повышение эффективности работы ИКЛ достигается за счёт оптимизации режима накачки.

## Устройство и принципы функционирования электрической схемы

Электрическая схема накачки импульсных ксеноновых ламп, представленная на рисунке 1, отличается от электрических схем, приведённых в работах [1–6], тем, что:

- в контуре формирования стримера (начального затравочного плазменного канала), импульса тока псевдо (импульсной) дежурной дуги и в выходном каскаде (разрядном контуре) формирования силового импульса электрического тока применены IGBT-транзисторы, а также из выходного каскада может быть исключён дроссель (катушка индуктивности) ДР, ограничивающий скорость изменения мгновенного тока накачки в импульсной ксеноновой лампе;
- в рассматриваемой электрической схеме накачки импульсных ксеноновых ламп в промежуточных каскадах

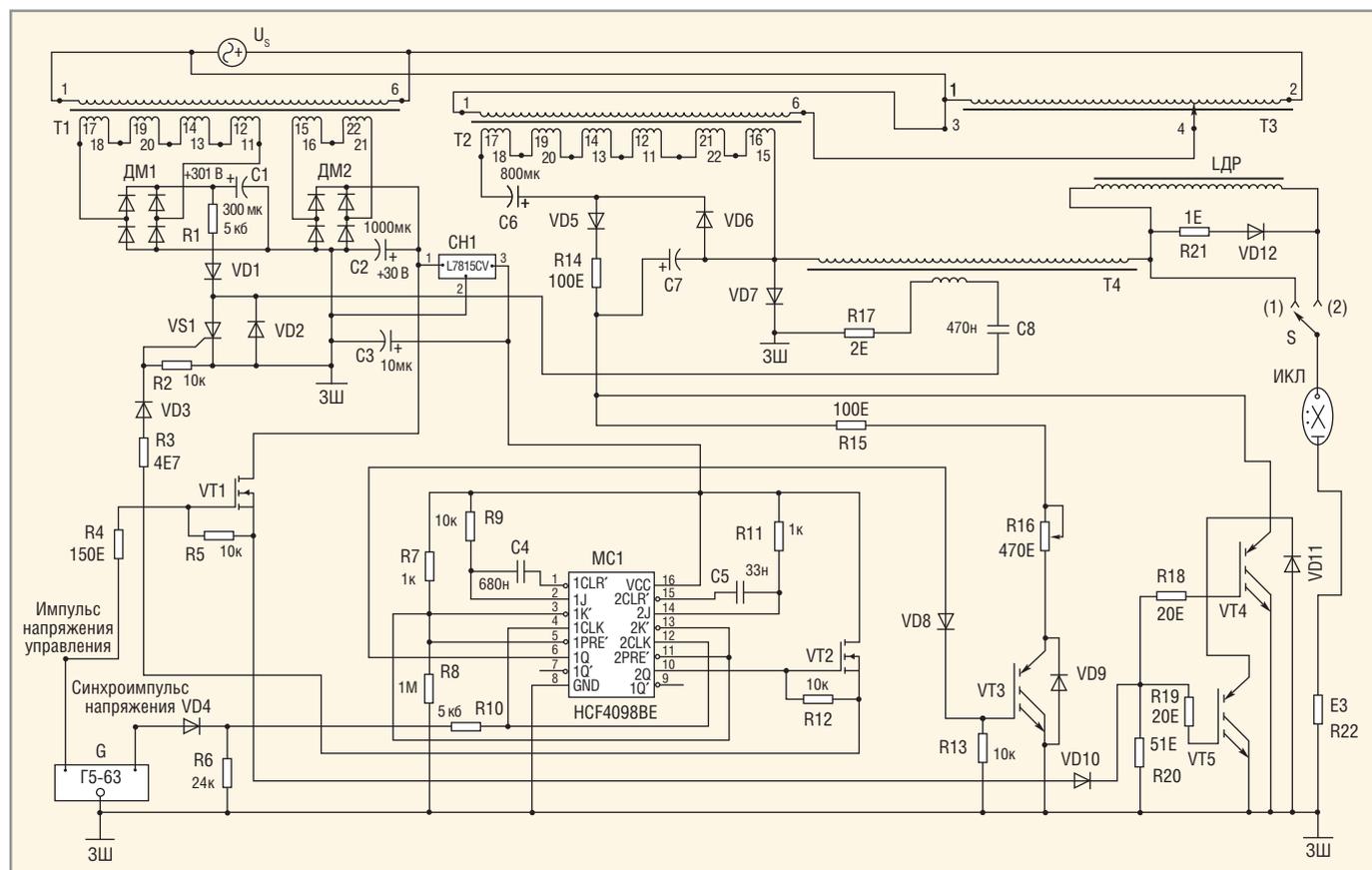


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема накачки импульсных ксеноновых ламп с коммутирующими IGBT-транзисторами

- управления тиристором VS1 и IGBT-транзисторами VT4, VT5 применены полевые (униполярные) транзисторы VT2 и VT1, включённые по схеме с общим стоком, и поэтому, обеспечивающие максимально высокие коэффициенты усиления по току;
- в) модулятор с частичным разрядом накопительной ёмкости поддерживает квазистабильное напряжение на блоке конденсаторов C7 и на импульсной ксеноновой лампе;
- г) в импульсной ксеноновой лампе, работающей в модуляторе с частичным разрядом накопительной ёмкости, существует стадия поддержания установившегося по амплитуде тока накачки;
- д) рассматриваемая электрическая схема обладает возможностью отключения импульсной ксеноновой лампы в любой момент времени;
- е) данная электрическая схема имеет малые габариты в связи с тем, что в ней применены современные элементы (см. таблицу).

Рассматриваемая электрическая схема накачки импульсных ксеноновых ламп с коммутирующими IGBT-транзисторами может работать в двух режимах, характеризующихся разными формами импульса тока накачки в ИКЛ, в зависимости от того, в каком положении находится ключ S:

- а) если ключ S находится в положении (2), то схема работает в режиме ограничения скорости изменения и амплитуды тока накачки в ИКЛ процессами во внешней электрической цепи (в дросселе) и физическими процессами в самой лампе (расширением неравновесного плазменного канала, увеличением и уменьшением температуры равновесного плазменного канала) одновременно (первый режим работы ИКЛ);
- б) если ключ S находится в положении (1), то схема работает в режиме ограничения скорости изменения и амплитуды тока накачки в ИКЛ только физическими процессами в самой лампе (расширением неравновесного плазменного канала, увеличением и поддержанием температуры равновесного плазменного канала) (второй режим работы ИКЛ).

Первый режим работы ИКЛ характеризуется полусинусоидальной формой импульса тока накачки в импульсной ксеноновой лампе, а второй режим работы ИКЛ – трапецидальной формой импульса тока накачки в лампе.

С генератора импульсов напряжений G в электрическую схему (см. рис. 1) поступает синхроимпульс напряжения с положительным фронтом амплитудой 10 В и длительностью 150 нс через диод VD4 и резистор R10 на входы 1CLK и 2CLK микросхемы MC1, запускающая два драйвера, построенных на микросхеме MC1 типа HCF4098BE (1561AG1) с подключёнными к ней разными электрическими элементами. Драйвер с индексом 2 формирует прямоугольный импульс напряжения управления схемой формирования высокого напряжения зажигания (поджига) импульсной ксеноновой лампы (ИКЛ). Этот прямоугольный импульс напряжения управления амплитудой 14 В и длительностью  $t_{\text{имп.у.р}} = R_{11}C_5/2 = 16,5$  мкс снимается с выхода 2Q микросхемы MC1 относительно земляной шины (ЗШ) (GND) и поступает на затвор 3 (G) полевого транзистора VT2, открывая его и обеспечивая протекание импульсного электрического

сигнала по контуру CH1(3) – VT2(СИ) – R3 – VD3 – VS1(УЭК) – CH1(2) (ЗШ). (CH (VST) – стабилизатор напряжения, C (D) – сток, И (S) – исток, УЭ (CE) – управляющий электрод, К (C) – катод, ЗШ (GND) – земляная шина). Протекающие импульсного электрического сигнала через управляющий электрод (УЭ) тиристора VS1 создаёт импульс напряжения амплитудой 10 В между управляющим электродом (УЭ) и катодом (К) тиристора VS1, открывая последний. В течение времени  $t_{\text{имп.у.р}} = R_{11}C_5/2 = 16,5$  мкс, когда тиристор VS1 находится в открытом состоянии, происходит переходный процесс формирования импульсного электрического сигнала в последовательном колебательном контуре C8 – VS1 (AK) (ЗШ) – R17–T4 (первичная обмотка) – C8, что приводит к возникновению двухполярного импульса напряжения амплитудой 300 В на первичной обмотке импульсного трансформатора T4. При этом индуцируется двухполярный импульс

#### Ведомость использованных элементов

Названия элементов	Обозначения элементов	Типы элементов	Номинальные параметры элементов
Резисторы	R1–R13		Номинальная мощность (0,125 Вт)
Резистор	R14		Номинальная мощность (75 Вт)
Резисторы	R15–R17		Номинальная мощность (5 Вт)
Резисторы	R18–R20		Номинальная мощность (2 Вт)
Резистор	R21, R22		Номинальная мощность (5 Вт)
Конденсаторы	C1, C6, C8		Номинальное напряжение (400 В)
Конденсатор	C2		Номинальное напряжение (50 В)
Конденсаторы	C3–C5		Номинальное напряжение (25 В)
Конденсатор	C7		Номинальное напряжение (800 В)
Дроссель (катушка индуктивности)	ЛДР		
Диоды	VD1–VD4, VD8–VD10	FR207	
Диоды	VD5, VD6, VD12	FR607	
Диоды	VD7, VD11	1N5408	
Диодные мосты	DM1, DM2	BR1010	
Полевой транзистор	VT1	IRF840	
Полевой транзистор	VT2	BUZ11	
IGBT-транзистор	VT3	IRG4BC30F	
IGBT-транзисторы	VT4, VT5	IRG4PSC71U	
Тиристор	VS1	KV239A	
Стабилизатор напряжения	CH1	L7815CV	
Два драйвера в микросхеме	MC1	HCF4098BE (1561AG1)	
Трансформатор	T1	TA262	
Трансформатор	T2	TA250*	
Лабораторный автотрансформатор регулируемый	T3	ЛАТР-1	
Импульсный трансформатор	T4		Первичная обмотка состоит из трёх витков, а вторичная – из 60 витков
Импульсная ксеноновая лампа	ИКЛ	ИНП-5/40 (ИСП250)	
Импульсная ксеноновая лампа	ИКЛ	ИНП-5,5/60 (ИСП2500)	
Генератор импульсов напряжений	G	Г5-63	
Электрическая однофазная сеть	SET		Действующее напряжение $U_{\text{сет}} = 220$ В и частота переменного напряжения $f_{\text{сет}} = 50$ Гц

высокого напряжения на вторичной обмотке импульсного трансформатора Т4, вследствие чего возникает двухполярный импульс высокого напряжения зажигания импульсной ксеноновой лампы амплитудой 6 кВ между анодом А и катодом К (С) ИКЛ, приводящий к электрическому пробое ксенона и созданию стримера (затравочного начального плазменного канала) между соответствующими электродами лампы.

Драйвер с индексом 1 формирует прямоугольный импульс электрического сигнала управления схемой формирования импульса тока псевдо (импульсной) дежурной дуги в импульсной ксеноновой лампе. Этот прямоугольный импульс электрического сигнала управления амплитудой 14 В и длительностью  $t_{imp,d.d} = R_9 C_4 / 2 = 3,4$  мс снимается с выхода 1Q микросхемы МС1 относительно земляной шины (ЗШ) и поступает через диод VD8 на затвор IGBT-транзистора VT3, переводя его в режим насыщения. В течение промежутка времени  $t_{imp,d.d} = R_9 C_4 / 2 = 3,4$  мс, когда IGBT-транзистор VT3 находится в режиме насыщения, импульсный ток псевдо дежурной дуги протекает по контуру (см. рис. 1):

- а) C7 – R15 – R16 – VT3 (КЭ) – R22 – ИКЛ (АК) – Т4 (вторичная обмотка) – С7 (в том случае, когда ключ S находится в положении (1));
- б) C7 – R15 – R16 – VT3 (КЭ) – R22 – ИКЛ (АК) – ДДР – Т4 (вторичная обмотка) – С7 (в том случае, когда ключ S находится в положении (2)).

Под воздействием импульса напряжения псевдо (импульсной) дежурной дуги в газоразрядной лампе стример перерастает в плазменный канал псевдо дежурной дуги, находящийся в состоянии готовности к поступлению силового импульса напряжения накачки в течение промежутка времени задержки  $t_{задержки}$  прямоугольного импульса напряжения управления относительно синхроимпульса напряжения, поступающих в электрическую схему с генератора импульсов напряжений G.

В паузе между синхроимпульсами напряжения, снимаемого с генератора G:

- а) конденсатор C1 заряжается через диодный мост ДМ1 почти до амплитудного напряжения 301 В, снимаемого со вторичной обмотки 11–17 трансформатора Т1;
- б) конденсатор C8 заряжается до напряжения 301 В, равного напряжению

на конденсаторе C1, по контуру ДМ1 (C1) – R1 – VD1 – C8 – Т4 (первичная обмотка) – R17 – ДМ1 (C1) (ЗШ).

Регулируя положение движка (4) автотрансформатора Т3, задаём нужное значение напряжения на блоке конденсаторов C7, когда ключ S находится в положении (1), или – на конденсаторе C7, если ключ S находится в положении (2) (см. рис. 1).

В случае, когда ключ S находится в положении (1), выходной каскад представляет собой модулятор с частичным разрядом накопительной ёмкости, и блок конденсаторов C7 выбирают такой ёмкости, чтобы он разряжался от начального напряжения  $U_{C7}$  на нём по контуру C7 – VT4 || VT5 – R22 – ИКЛ (АК) – Т4 (вторичная обмотка) – С7 не более чем на 5% за длительность импульса тока накачки  $t_p$ , равную длительности импульса напряжения управления  $t_u$ , поступающего с генератора G (см. рис. 1). (А – анод, К (С) – катод). В этом случае электрическая схема, представленная на рисунке 1, обеспечивает квазистабильное напряжение накачки между электродами ИКЛ. Почти всё напряжение, до которого заряжен блок конденсаторов C7 (см. рис. 1), приложено между электродами ИКЛ в течение длительности импульса тока накачки  $t_p$ , за исключением падения напряжения на балластном резисторе R22 и падения напряжения  $U_{CEVT4,sat} = U_{CEVT5,sat} \approx 2$  В между коллекторами и эмиттерами IGBT-транзисторов VT4 и VT5, находящихся в режиме насыщения. (К (С) – коллектор, Э (Е) – эмиттер). В модуляторе с частичным разрядом накопительной ёмкости формируется трапецеидальная форма импульса тока накачки.

Если ключ S находится в положении (2), выходной каскад представляет собой разрядный LC-контур и вместо блока конденсаторов C7 в рассматриваемую электрическую схему (см. рис. 1) включают конденсатор C7 такой ёмкости, при которой он полностью разрядится от начального напряжения  $U_{C7}(t_0)$  на нём за длительность  $t_{im}$  полужителной полувольты полусинусоидального электрического тока накачки в ИКЛ по контуру C7 – VT4 || VT5 – R22 – ИКЛ (АК) – ДДР – Т4 (вторичная обмотка) – С7. (ДР (DR) – дроссель (катушка индуктивности)). В разрядном LC-контуре формируется полусинусоидальная форма импульса тока накачки.

С заданной временной задержкой  $t_{задержки}$  у генератора импульсов напря-

жений G, регулируемой в оптимальном интервале значений от 20 мкс до 3,3 мс, относительно синхроимпульса напряжения с генератора G поступает прямоугольный импульс напряжения управления амплитудой 30 В через резистор R4 на затвор полевого транзистора VT1 длительностью  $t_u = t_p$ , заданной у генератора G и находящейся в пределах оптимального диапазона от 200 мкс до 3,5 мс. Этот прямоугольный импульс напряжения управления открывает полевой транзистор VT1, обеспечивая протекание импульсного электрического сигнала по контуру ДМ2 (C2) – VT1 (СИ) – VD10 – (R18 – VT4 (ЗЭ)) || (R19 – VT5 (ЗЭ)) – ДМ2 (C2) (ЗШ), переводя IGBT-транзисторы VT4, VT5 в режим насыщения и обеспечивая протекание импульсного электрического тока накачки в выходном каскаде (силовом разрядном контуре):

- а) C7 – VT4 || VT5 – R22 – ИКЛ (АК) – Т4 (вторичная обмотка) – С7 (в том случае, когда ключ S находится в положении (1));
- б) C7 – VT4 || VT5 – R22 – ИКЛ (АК) – ДДР – Т4 (вторичная обмотка) – С7 (в том случае, когда ключ S находится в положении (2)).

Под воздействием силового импульса электрического напряжения накачки в газоразрядной лампе из плазменного канала псевдодежурной дуги формируется расширяющийся неравновесный плазменный канал, затем переходящий в равновесный плазменный канал, установившийся по объёму.

В паузе между импульсами напряжения управления, снимаемого с генератора G:

- а) конденсатор C2 заряжается через диодный мост ДМ2 почти до амплитудного напряжения 30 В, снимаемого со вторичной обмотки 15–21 трансформатора Т1;
  - б) конденсатор C7 заряжается через умножитель напряжения почти до удвоенного амплитудного напряжения, снимаемого со вторичной обмотки 15–17 трансформатора Т2.
- Если ключ S находится в положении (2) в электрической схеме (см. рис. 1), работающей в колебательном режиме, то есть при условии  $\omega_0 > \delta$ , справедливо следующее равенство:

$$\left(\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}\right)t_{im} = \pi, \quad (1)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{dr} C_7}}, \quad (2)$$

$$\delta = \frac{R_{ekv}}{2L_{dr}}, \quad (3)$$

где  $\omega_0$  – резонансная циклическая частота,  $\delta$  – логарифмический декремент затухания,  $t_{im}$  – длительность положительной полуволны полусинусоидального электрического сигнала,  $L_{dr}$  – значение индуктивности дросселя ЛДР,  $C_7$  – значение ёмкости конденсатора  $C_7$ .

Подставив выражения (2) и (3) в (1), получаем квадратное уравнение, решением которого стала формула для определения величины индуктивности дросселя:

$$L_{dr.1,2} = \frac{1}{2C_7} \left( \frac{t_{im}}{\pi} \right)^2 \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{R_{ekv} C_7 \pi}{t_{im}} \right)^2} \right], \quad (4)$$

где  $R_{ekv}$  – эффективное эквивалентное сопротивление ИКЛ, рассчитываемое по формуле:

$$R_{ekv} = (K_{0,c})^4 \left( \frac{t_{im}}{W_{el}} \right)^3, \quad (5)$$

где  $K_{0,c}$  – эффективное значение характеристического импеданса ИКЛ,  $W_{el}$  – электрическая энергия, поступившая в ИКЛ за время  $t_{im}$ .

Если ключ  $S$  находится в положении (2) в электрической схеме

(см. рис. 1), работающей в аperiodическом режиме, то есть при условии  $\delta > \omega_0$ , справедливо следующее равенство:

$$\left( \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} \right) t_{im} = \pi. \quad (6)$$

Подставив выражения (2) и (3) в (6), получаем квадратное уравнение, решением которого стала формула для определения величины индуктивности дросселя:

$$L_{dr.1} = \frac{1}{2C_7} \left( \frac{t_{im}}{\pi} \right)^2 \left[ -1 + \sqrt{1 + \left( \frac{R_{ekv} C_7 \pi}{t_{im}} \right)^2} \right]. \quad (7)$$

Если ключ  $S$  находится в положении (2) и длительность  $t_u = t_i$  импульсного электрического сигнала управления IGBT-транзисторами  $VT4$  и  $VT5$  меньше, чем длительность положительной полуволны полусинусоидального электрического сигнала  $t_{im}$ , то после запираания IGBT-транзисторов  $VT4$  и  $VT5$ , затухающий ток протекает по контуру ЛДР –  $R21$  –  $VD12$  (АК) – ЛДР.

В выходной каскад (силовой разрядный контур) с ИКЛ нужно последовательно подключить балластный рези-

стор (активное сопротивление)  $R22$  для согласования вольт-амперной характеристики импульсного силового источника электропитания с вольт-амперной характеристикой импульсной ксеноновой лампы. Для надёжного зажигания (поджига) ИКЛ нужно обмотать часть её кварцевой колбы медной проволокой по спирали, оставив концы проволоки свободными (не подключёнными).

Представленная электрическая схема (см. рис. 1) может работать от генератора импульсов напряжений  $G$  как в режиме ручного запуска, так и в режиме внутреннего (автоматического) запуска.

Импульсная ксеноновая лампа типа ИНП-5/40 (ИСП250) устойчиво функционирует в электрической схеме, представленной на рисунке 1, при следующих оптимальных параметрах импульса тока накачки в лампе: значении амплитуды импульса тока до 170 А и длительности импульса тока  $t_i$ , находящейся в пределах диапазона от 200 мкс до 3,5 мс.

### ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследуем работу импульсной ксеноновой лампы типа ИНП-5/40 (ИСП250)



**www.rfhic.com**

## СВЧ-усилители на основе модуля GaN компании RFHIC – новые возможности для различных применений

Компания RFHIC предоставляет самые эффективные решения на основе твердотельных усилителей мощности для метеорологических, морских и воздушных РЛС

RFHIC – оптимальный выбор по цене и качеству



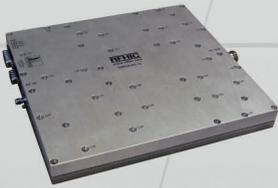
Радиолокатор УВД



Метеорологический радиолокатор



Судовой радиолокатор






<ul style="list-style-type: none"> <li>Усилитель высокой мощности на основе GaN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SMD/SMT GaN-усилитель для ФАР</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Палетный усилитель мощности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Модуль GaN</li> </ul>
1–2 кВт	2,7...2,9 Гц 50 Вт    9,2...9,5 Гц 25 Вт	2,7...2,9 Гц    5,6...5,7 Гц    9,2...9,5 Гц 200–400 Вт    200 Вт    50–100 Вт	9,3...9,5 Гц 200 Вт

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ RFHIC**

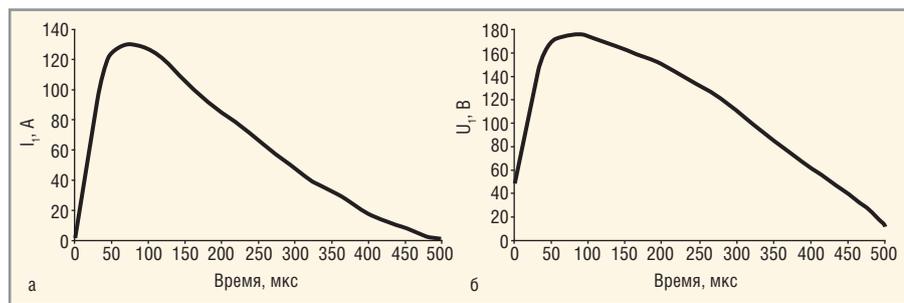


POWERED BY PROSOFT

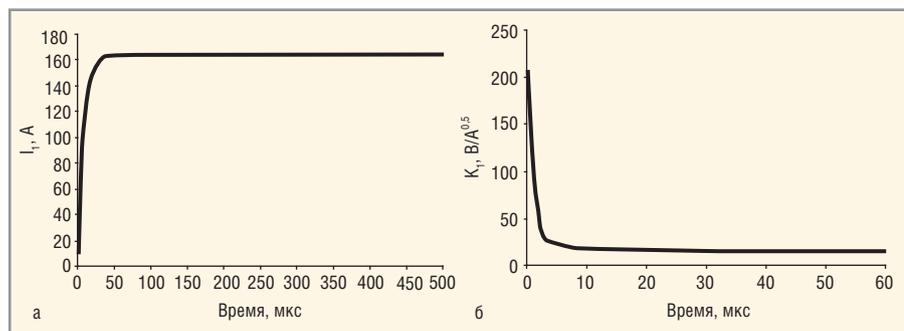
Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU





**Рис. 2. Экспериментальная переходная характеристика:** а – мгновенного тока накачки в импульсной ксеноновой лампе, функционирующей в первом режиме работы; б – мгновенного напряжения накачки между электродами импульсной ксеноновой лампы, функционирующей в первом режиме работы



**Рис. 3. Экспериментальная переходная характеристика:** а – мгновенного тока накачки в импульсной ксеноновой лампе, функционирующей во втором режиме работы; б – мгновенного характеристического импеданса импульсной ксеноновой лампы, функционирующей во втором режиме работы

в электрической схеме накачки, представленной на рисунке 1 и функционирующей в двух режимах.

Первый режим работы ИКЛ наблюдается в выходном каскаде на основе разрядного LC-контура, то есть в случае, когда ключ  $S$  находится в положении (2) (см. рис. 1). Второй режим работы ИКЛ наблюдается в выходном каскаде на основе модулятора с частичным разрядом накопительной ёмкости, то есть в том случае, когда ключ  $S$  находится в положении (1).

На рисунках 2 и 3 представлены экспериментальные переходные характеристики мгновенных токов накачки  $i_1(t)$ , мгновенного напряжения накачки  $u_1(t)$  и мгновенного характеристического импеданса  $K_1(t)$  для импульсной ксеноновой лампы (ИКЛ) типа ИНП-5/40 (ИСП250), функционирующей в двух упомянутых ранее режимах работы при следующих величинах параметров разрядного контура накачки ИКЛ и самой лампы:

- начальной величине напряжения  $U_{C7}(t_0) = 300$  В на конденсаторе  $C_7$  ёмкостью  $C_7 = 100$  мкФ, индуктивности дросселя  $L_{dr} = 50$  мкГн (для первого режима работы);
- $U_{C7}(t_0) = 200$  В,  $C_7 = 13$  мФ (для второго режима работы).

При этом длительность положительного импульса тока накачки в ИКЛ

$t_{tm} = 500$  мкс, напряжение псевдодежурной дуги между электродами ИКЛ  $U_{ld} = 48$  В, ток псевдодежурной дуги в ИКЛ  $I_d = 0,9$  А, прианодное и прикатодное падение напряжений в ИКЛ  $U_a = U_k = 3$  В, радиус внутренней полости кварцевой колбы ИКЛ  $R_{vp} = 2,5$  мм, максимальный радиус равновесного плазменного канала в ИКЛ  $R_{km} = 2,3$  мм, длина положительного столба плазменного канала, близкая к расстоянию между электродами ИКЛ  $H_{st} = 40$  мм, электронная температура образования ксеноновой плазмы  $T_{co} = 6400$  К [4–6], граничные длины волн спектрального диапазона излучения ИКЛ  $\lambda_1 = 180$  нм,  $\lambda_2 = 1100$  нм, относительный коэффициент пропускания излучения кварцевых стенок колбы ИКЛ  $\gamma_1 = 0,92$  отн. ед.  $\rho_1 = 4,234$  кг/м<sup>3</sup> – плотность ксенона в ИКЛ при температуре  $T_0 = 300$  К и давлении  $P_0 = 80$  кПа [4–6].  $\rho_{pld} = 0,721$  кг/м<sup>3</sup>,  $T_{ld} = 2450$  К,  $P_{pld} = 111,9$  кПа,  $A_{pld} = 1,88 \times 10^{-5}$  отн. ед.,  $R_{kd} = 0,4562$  мм – объёмная плотность, ионная температура, давление, средний спектральный относительный коэффициент излучения и радиус плазменного канала на стадии поддержания тока псевдодежурной дуги соответственно.

На рисунках 2а и 2б представлены экспериментальные переходные характеристики мгновенного тока накачки  $i_1(t)$  в ИКЛ и мгновенного напряже-

ния накачки  $u_1(t)$  между электродами ИКЛ при начальном напряжении на конденсаторе  $U_{C7}(t_0) = 300$  В, ёмкости конденсатора  $C_7 = 100$  мкФ и при величинах других параметров, равных указанным ранее (первый режим работы).

На рисунках 3а и 3б представлены экспериментальные переходные характеристики мгновенного тока накачки  $i_1(t)$  в ИКЛ и мгновенного характеристического импеданса ИКЛ  $K_1(t)$  при напряжении на блоке конденсаторов  $U_{C7} = 200$  В, ёмкости блока конденсаторов  $C_7 = 13$  мФ и при величинах других параметров, равных указанным ранее (второй режим работы).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье проведено описание принципов функционирования импульсной ксеноновой лампы в электрической схеме с коммутирующими IGBT-транзисторами и показано, что рассмотренная схема обладает следующими возможностями:

- ограничение скорости изменения и амплитуды тока накачки в импульсной ксеноновой лампе процессами во внешней электрической цепи и физическими процессами в самой лампе одновременно;
- ограничение скорости изменения и амплитуды тока накачки в импульсной ксеноновой лампе только физическими процессами, протекающими в самой газоразрядной лампе;
- присутствие или отсутствие дросселя (катушки индуктивности) в выходном каскаде (силовом разрядном контуре);
- поддержание установившегося по амплитуде тока накачки в импульсной ксеноновой лампе;
- отключение импульсной ксеноновой лампы в любой момент времени.

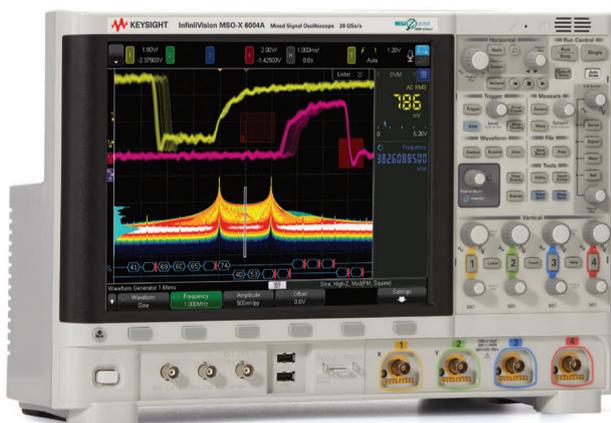
## ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуленко В.М., Иванов Л.П. Источники питания лазеров. М. Сов. Радио. 1980. 104 с.
2. Шмелев К.Д., Королёв Г.В. Источники электропитания лазеров. Под общ. ред. Вакуленко В.М. М. Энергоиздат. 1981. 169 с.
3. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. Расчёт источников электропитания устройств связи. Под общ. ред. Бокуняева А.А. М. Радио и связь. 1993. 232 с.
4. Мак А.А., Яшин В.Е., Сомс Л.Н., Фромзель В.А. Лазеры на неодимовом стекле. М. Наука. 1990. 288 с.
5. Маршак И.С. Импульсные источники света. М. Энергия. 1978. 472 с.
6. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М. Энергоатомиздат. 1991. 720 с.



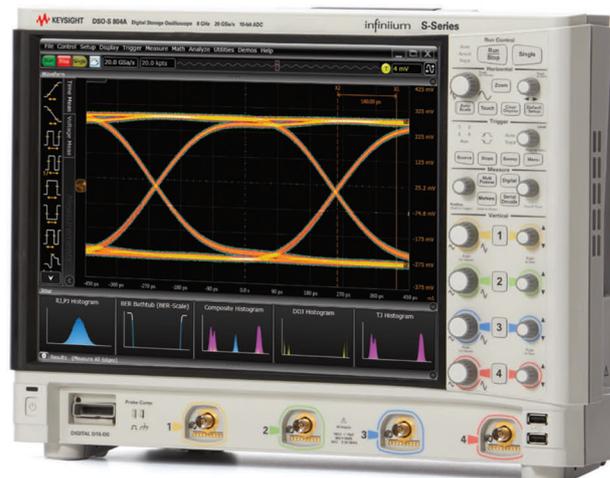
# Представляем новый стандарт.

## Осциллографические технологии нового поколения.



### Серия 6000X: новый стандарт соотношения цены и характеристик

- Наилучшее на рынке сочетание цены и производительности
- Непревзойденное качество отображения сигналов
- Высочайшая степень интеграции



### Серия S: Новый стандарт прецизионных измерений

- Лучшие в отрасли показатели по целостности сигнала
- Самая передовая компьютерная платформа
- Широчайший спектр возможностей

	Осциллографы Keysight InfiniiVision 6000X	Осциллографы Keysight Infiniium серии S
Полоса пропускания	1 ГГц – 6 ГГц	500 МГц – 8 ГГц
Максимальная частота дискретизации	20 Гвыб./с	20 Гвыб./с
Самый низкий в отрасли уровень собственных шумов**	115 мкВ (сз) (1 мВ/дел.)	90 мкВ (сз) (1 мВ/дел.)
А также:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Скорость обновления сигналов на экране 450 000 осциллограмм/с</li> <li>- Аппаратная функция «запуска касанием» InfiniiScan Zone</li> <li>- Емкостной экран с технологией «мультитач» с диагональю 12,1 дюйма</li> <li>- Функциональность 6 приборов в 1</li> <li>- Голосовое управление</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- АЦП с разрешением 10 бит</li> <li>- Глубина памяти 100 Мвыб. в стандартной комплектации</li> <li>- Емкостной экран с технологией «мультитач» с диагональю 15 дюймов</li> <li>- Усовершенствованный интерфейс пользователя Infiniium</li> </ul>

Ощутите разницу – закажите демонстрацию прибора.  
[www.keysight.com/find/anewstandard](http://www.keysight.com/find/anewstandard)

8 800 500 9286 (звонок по России бесплатный)

© Keysight Technologies, Inc. 2014. \* Цены указаны в долларах США на условиях CIP и не включают налоги и таможенные сборы \*\* На частоте 1 ГГц

Реклама



Unlocking Measurement Insights

# Компактная модель транзистора: план действий для успешной разработки усилителя

Тони Гасселинг, компания AMCAD Engineering (Франция)

Перевод: Елена Кириленко

**В статье описаны особенности построения компактной модели СВЧ-транзистора, которая позволяет создать эффективное проектное решение, ускорить процесс разработки усилителя, снизить трудоёмкость работ и в сжатые сроки вывести на рынок новое изделие.**

Разработчики СВЧ-транзисторов используют современные модели транзисторов со времён их появления в середине 1970-х гг. Такие модели позволили инженерам создавать новые топологии транзисторов без необходимости реализации множества прототипов и выполнения многочисленных итераций. Как выбрать подходящую модель среди множества существующих подходов? На сегодняшний день наиболее часто применяются следующие три типа моделей: физическую модель, компактную модель и поведенческую модель.

Физические модели, как следует из названия, основаны на физических принципах работы устройства, изготовленного по конкретной технологии. Эти модели относятся к самому транзистору, а не к общей схеме. Особенность этой модели заключается в использовании сложной системы уравнений, что может привести к трудоёмкому и затратному по времени процессу моделирования. Преимуществом физической модели является то, что по срав-

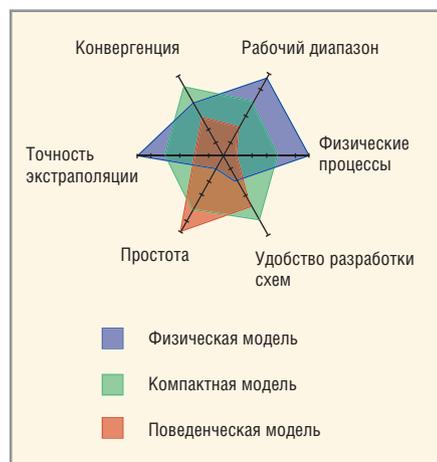
нению с другими моделями пределы её использования весьма широки, так как уравнения описывают сложные физические законы, а не результаты реальных измерений.

Компактные модели транзисторов, которые построены на результатах измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) и S-параметров, позволяют разработчикам уделить основное внимание проектированию схем, а не транзисторов. Компактные модели транзисторов, полученные на основе измерения ВАХ и S-параметров в квази-изотермических условиях и подтверждённые с помощью измерений методом согласования нагрузок, содержат сокращённое количество параметров. В отличие от других типов моделей, компактные модели учитывают такие сложные явления, как электротермические эффекты и эффекты захвата носителей заряда на ловушках. Моделирование работы транзисторов в нелинейных режимах позволяет в дальнейшем с высокой точностью прогнозировать характеристики усилителя при воздействии сложных модулированных сигналов (например, амплитуда вектора ошибок (EVM) и коэффициент мощности в смежном канале (ACPR)), поскольку учитываются низкочастотные и высокочастотные эффекты памяти. Компактные модели оптимальны для бескорпусных транзисторов (кристаллов), так как их разработка основывается на измерениях ВАХ и S-параметров, которые не вызывают затруднений и не требуют много времени. Модели для транзисторов в корпусе должны включать в себя модель кристалла, модель соединений, а также модель корпуса, поэтому их создание более трудоёмко и связано с дополнительными затратами.

Поведенческие модели, основанные на измерениях в частотной области, менее гибки, чем физические и компактные модели, однако могут быть без труда разработаны для любых типов компонентов (в том числе, бескорпусных транзисторов и транзисторов в корпусе). Поведенческие модели считаются моделями типа «чёрный ящик», в которых известными являются только отклики компонента на некий входной сигнал управления, поэтому такие модели корректны только при определённых рабочих условиях. Этот тип моделей находится в стадии проведения активных разработок. Недавно такой тип модели был усовершенствован тем, что в ней стали учитывать эффекты памяти [1, 2], однако, будучи табличной моделью, она не может быть такой же полной и завершённой, как модель, построенная на основе уравнений.

Очевидно, что любой тип модели, будь то физическая, компактная или поведенческая, имеет свои преимущества и недостатки, как показано на рисунке 1. Хотя не существует универсальной модели для всех случаев, компактные модели транзисторов обеспечивают кратчайшие сроки разработки при максимальной гибкости для бескорпусных транзисторов.

Разработка компактных моделей транзисторов была и остаётся важным направлением деятельности университетов и институтов по всему миру [3–9]. По этой причине опубликовано большое количество работ, посвящённых исследованиям в этой области. В данной статье основное внимание уделено описанию процесса экстракции моделей полевых транзисторов с широкой запрещённой зоной, в частности, полевых транзисторов на нитриде галлия (GaN). Идеальная компактная модель GaN-транзистора должна точно описывать работу устройства при различных значениях температур, напряжений смещения и СВЧ-мощности. Процесс разработки компактной модели полевого транзистора на нитриде галлия, пока-



**Рис. 1.** Типы моделей приборов при больших сигналах

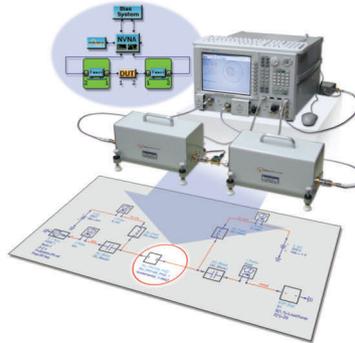
# РЕШЕНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ СВЧ-УСТРОЙСТВ

*Maury Microwave предлагает широкий спектр решений для измерения характеристик СВЧ-устройств*

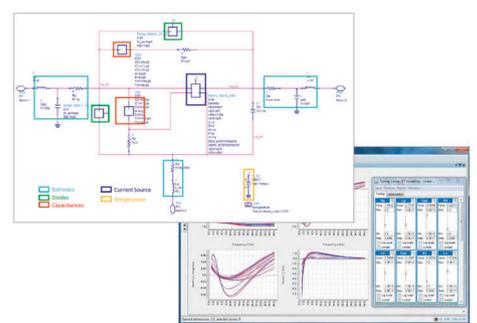
**Load-Pull измерения с векторными приемниками**



**NVNA, измерения во временной области и измерения X-параметров**



**Линейное и нелинейное компактное моделирование**



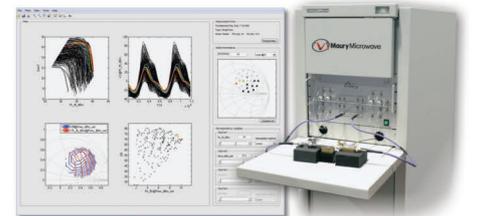
**Измерение шумовых параметров**



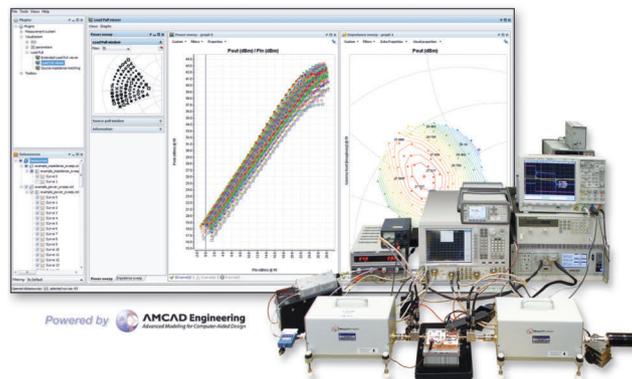
**Активный Load-Pull, гибридный Load-Pull**



**Активный Load-Pull с широким размахом по импедансу для модулированных сигналов**



**Гармонический Load Pull в режиме импульсного смещения для устройств GaN и WBG**



занный на рисунке 2, состоит из следующих этапов:

- экстракция линейной модели на основе результатов измерений мало-сигнальных S-параметров;
- экстракция нелинейной модели на основе результатов импульсных измерений ВАХ;
- моделирование нелинейных ёмкостей на основе результатов синхронных импульсных измерений ВАХ-и СВЧ-параметров;
- электротермическое моделирование с контролем температуры;
- моделирование эффекта захвата носителей заряда на ловушках.

Кроме того, компактная модель транзистора также может быть подтверждена с помощью измерений методом согласованных нагрузок.

### ЭКСТРАКЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

Первым шагом в экстракции линейной модели является использование измеренных S-параметров для определения внешних паразитных элементов транзистора ( $R_g, L_g, C_{pg}, R_d, L_d, C_{pd}, R_s$  и  $L_s$ ), которые показаны на рисунках 3 и 4. После определения номиналов внешних элементов данные S-параметры могут быть пересчитаны для внутренней базовой плоскости модели, а набор значений внутренних параметров транзистора ( $C_{gs}, C_{gd}, G_m, G_d, C_{ds}, R_p, T_{au}, R_{gd}$ ) может быть получен на основе известных уравнений, опубликованных в литературе [10, 11].

В процессе оптимизации модели основной задачей этапа линейного моделирования является определение величин внешних параметров, которые, в свою очередь, позволяют получить набор внутренних параметров с постоянными по частоте значениями. Во время оптимизации измеренные и смоделированные S-параметры сравниваются между собой во всей полосе частот СВЧ-сигнала. Измеренные S-параметры преобразуются в соответствующие Y- и Z-параметры. Затем эти Y- и Z-параметры можно сравнивать во внешней и внутренней плоскостях моделирования.

### ЭКСТРАКЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВАХ

В процессе экстракции нелинейной модели используются импульсные измерения ВАХ для изучения зависимости рабочих характеристик от тем-

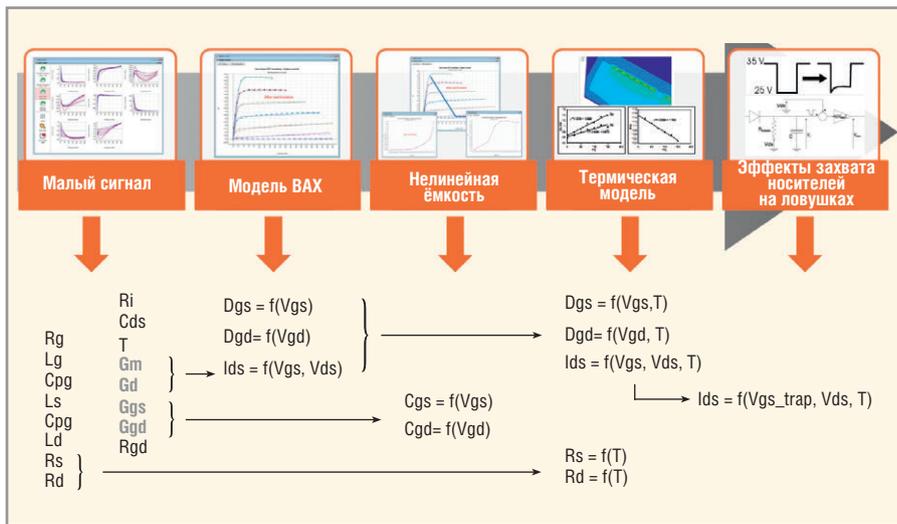


Рис. 2. Порядок экстракции компактной модели полевого транзистора

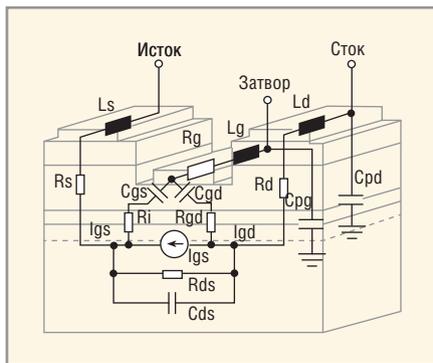


Рис. 3. Эквивалентная схема компактной модели полевого транзистора

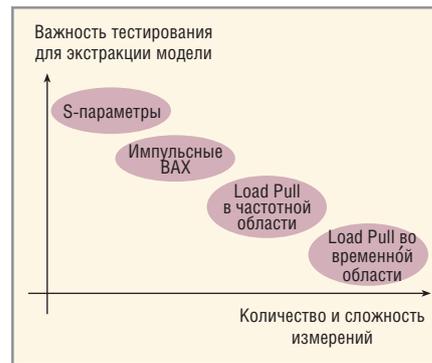


Рис. 4. Измерения, необходимые для получения компактной модели

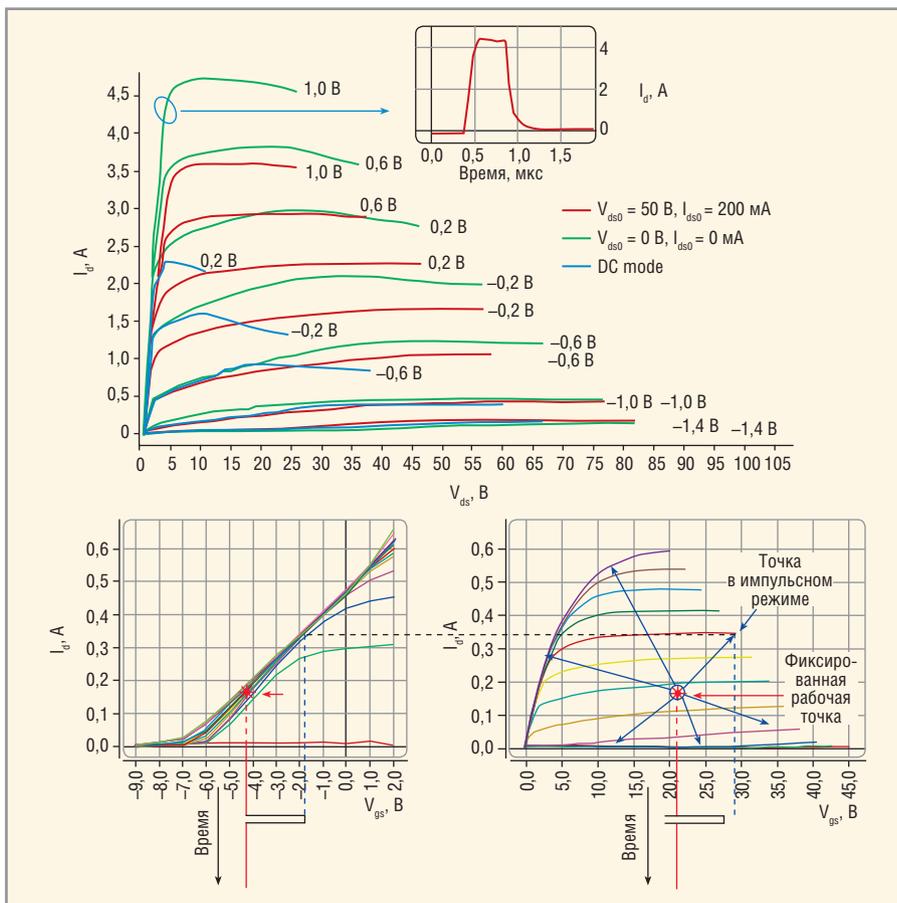


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики при постоянном токе и в импульсном режиме

пературы (в том числе, явления само-разогрева) в области безопасной работы транзистора (см. рис. 5) [12]. При измерениях используются импульсы с достаточно малой длительностью, чтобы исключить сильные температурные скачки во время импульса, и достаточно малый коэффициент заполнения, чтобы избежать отключения средних значений температуры. Таким образом, измерения ВАХ в импульсном режиме будут выполнены в квази-изотермических условиях.

Для завершения электротермической модели важно определить полное тепловое сопротивление транзистора, чтобы можно было динамически прогнозировать рабочие характеристики в зависимости от температуры тестируемого устройства (температуры рабочего столика зондовой системы) и само-разогрев [9, 13]. Для получения полного теплового сопротивления проводится два типа измерений.

Для экстракции теплового сопротивления сначала выполняются измерения ВАХ как при постоянном токе (DC), так и в режиме коротких импульсов. Затем, как показано на рисунке 6, измерения проводятся в режиме более длинных импульсов, чтобы исследовать уменьшение величины тока со временем и получить величину тепловой ёмкости. Конструкция транзистора, количество слоёв, тип основных носителей заряда, теплоотвод и многое другое влияет на то, как температура (а, следовательно, и рабочие характеристики) изменяется во времени. Полное тепловое сопротивление может быть смоделировано с использованием комбинации нескольких тепловых сопротивлений и тепловых ёмкостей, представляющих различные постоянные времени. Данная тепловая цепь обеспечивает эквивалентную температуру р-п-перехода транзистора в зависимости от подводимой мощности постоянного тока и используется в различных моделях вспомогательных цепей (сопротивления, источник тока, диоды и цепи пробоя), которые могут быть связаны с напряжением, током и температурой.

В примере, показанном на рисунке 7, входные токи диодов должны быть смоделированы с помощью эквивалентных нелинейных источников тока, способных генерировать положительный ток на затворе при прямом смещении транзистора с малыми значениями напряжения на стоке  $V_{ds}$  и большими зна-

чениями напряжения на затворе  $V_{gs}$ , а также способных генерировать отрицательный ток при больших значениях напряжения на стоке  $V_{ds}$  и напряжении отсечки на затворе  $V_{gs}$ . Для обеспечения сходимости, модель выходного источника тока должна быть непрерывной в п-м-порядке для любых значений  $V_{gs}$  и  $V_{ds}$ . В модели AMCAD-FET используется модель источника тока, которая может быть описана следующими уравнениями:

$$I_{ds} = U \times \tanh(\alpha V_{ds}), \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{(\alpha_1 - \alpha_2) \tanh(-V_{gs} + V_{g1})}{(\alpha_1 + \alpha_2)} \right), \quad (2)$$

$$U = F_a \times \left( I_1 (V_1 + \lambda) + \frac{(V_{ds} - V_{dsp})}{R_{dso}}, R_u, U_0 \right), \quad (3)$$

$$V_1 = F_p (V_{gs}, V_{ds}), \quad (4)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, V_{gs1}, I_1, \lambda, V_{dsp}$  и  $R_{dso}$  – это параметры. Функция  $F_a$  определяет нижний предел соответствующей функции с произвольным значением  $U_0$  и регулируемым параметром плавности перехода  $R_u$ . Функция  $F_p$  – полином n-го порядка с двумя переменными ( $V_{gs}, V_{ds}$ ). Кроме того, на пластине измерения могут быть проведены повторно для различных значений температуры рабочего стола (зондовой станции). Это позволяет определить температурно-зависимые переменные и применить их к модели.

### ЭКСТРАКЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМПУЛЬСНЫХ ВАХ/СВЧ-ИЗМЕРЕНИЙ

Моделирование нелинейных ёмкостей, определяющее модели  $C_{gd}$  и  $C_{gs}$ , достигается за счёт синхронизированных импульсных СВЧ-измерений (импульсных измерений S-параметров) и импульсных измерений ВАХ на высокочастотной нагрузочной кривой. Хотя нелинейная ёмкость может быть смоделирована уравнениями, зависящими одновременно от напряжений  $V_{gd}$  и  $V_{gs}$  (так называемые «двумерные модели»), было показано, что одномерные модели ёмкости имеют лучшую сходимость без потери точности [14]. Поэтому модель ёмкости  $C_{gd}$  связана с  $V_{gd}$ , в то время как модель ёмкости  $C_{gs}$  зависит от  $V_{gs}$ .

Ёмкость обратной связи  $C_{gd}$  зависит, в большей степени, от напряжения стока, поэтому её необходимо учитывать в режиме большого сигнала.

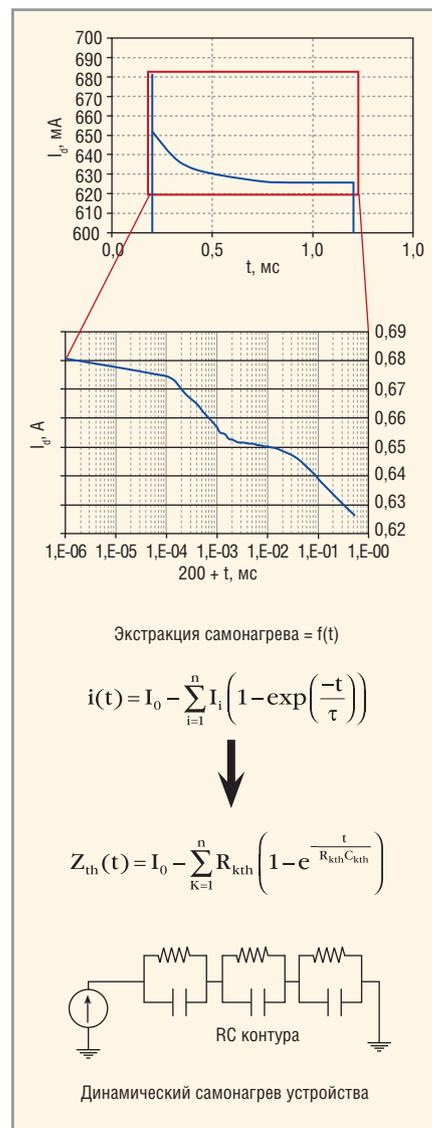


Рис. 6. Экстракция температурной модели

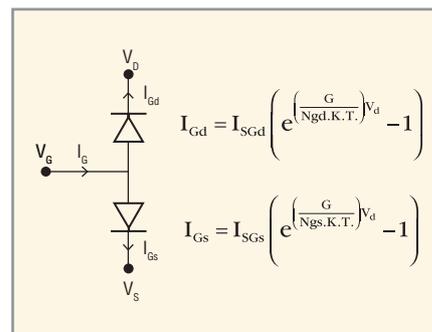


Рис. 7. Модель тока затвора

ла. Модель  $C_{gd}$  определяется следующим уравнением:

$$C_{gd} = C_{gd0} + \frac{C_{gd1} + C_{gd0}}{2} \left[ 1 + \tanh(c(V_{gd} + V_n)) \right] - \frac{C_{gd2}}{2} \left[ 1 + \tanh(d(V_{gd} + V_q)) \right]. \quad (5)$$

Одномерная модель ёмкости  $C_{gd}$ , показанная на рисунке 8, изначально оптимизирована для транзисторов на основе арсенида галлия (GaAs),

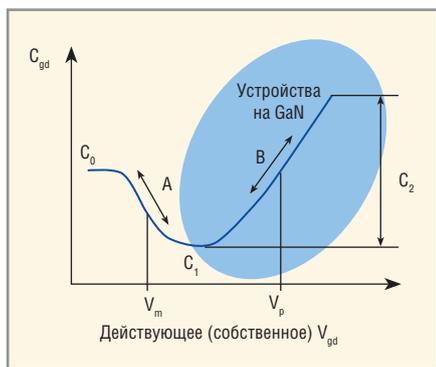


Рис. 8. Нелинейная ёмкость  $C_{gd}$

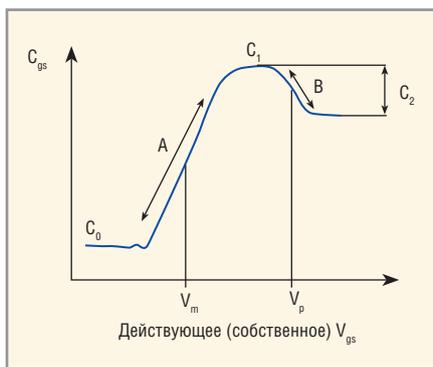


Рис. 9. Нелинейная ёмкость  $C_{gs}$

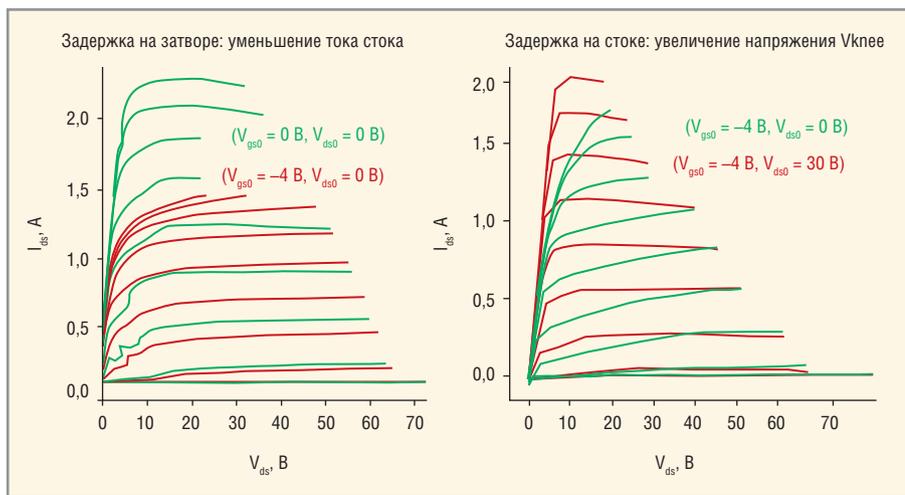


Рис. 10. Эффекты захвата носителей на ловушках

но была доработана для применения к технологии GaN. На той же высокочастотной нагрузочной кривой одномерная модель входной ёмкости  $C_{gs}$ , показанная на рисунке 9, сильно зависит от напряжения на затворе. Нелинейность напряжения затвора значительно влияет на частотную характеристику модели. Ёмкость может быть смоделирована следующим уравнением:

$$C_{gs} = C_{gs0} + \frac{C_{gs1} + C_{gs0}}{2} [1 + \tanh(a(V_{gs} + V_m))] - \frac{C_{gs2}}{2} [1 + \tanh(b(V_{gs} + V_p))] \quad (6)$$

Выходная ёмкость  $C_{ds}$  линейна; зависимость от напряжения не учитывается из-за слабого влияния на конечное усиление.

**ЭФФЕКТЫ ЗАХВАТА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА НА ЛОВУШКАХ**

Для экстракции нелинейной модели также используют импульсные измерения ВАХ для выделения эффекта захвата носителей заряда на ловушках в зависимости от выбранной рабочей точки. Эффекты захвата являются паразитными эффектами, снижающими мак-

симальный выходной ток. Заряд и разряд ловушек влияют на значение тока  $I_{ds}$  и ведут к резкому спаду тока. Ловушки представляют собой энергетические состояния в запрещённой зоне, которые могут быть заняты дырками или электронами. Электроны или дырки занимают эти уровни на определённый период времени и не принимают участие в проводимости. Отсюда и появился термин «захват носителей на ловушках». Захват носителей на ловушках является результатом существования примесей и дефектов в кристаллической решётке материала транзистора и влияет на работу транзистора на сверхвысоких частотах.

Импульсные измерения ВАХ используются для изучения отдельных эффектов захвата носителей и позволяют отделить эффекты поверхностного захвата (задержки включения транзистора по затвору) от эффектов захвата в буферном слое (задержки включения по стоку). При выполнении импульсных измерений ВАХ важно убедиться, что длительность импульсов меньше постоянной времени эмиссии ловушек. Также во время проведения измерений важно поддерживать постоянную температуру, чтобы быть уверен-

ными в том, что изменения в поведении устройства происходят из-за эффекта захвата носителей на ловушках, а не из-за изменения температуры.

Эффект задержки на затворе связан, главным образом, с поверхностным захватом носителей заряда на ловушках. Для того чтобы выделить эти эффекты среди прочих, проводятся две серии измерений с одинаковыми мощностями рассеяния, равными нулю. При проведении импульсных измерений ВАХ выбираются следующие две фиксированные рабочие точки:

- $QP_1$ :  $V_{gs0} = V_p, V_{ds0} = 0$  В;
- $QP_2$ :  $V_{gs0} = 0$  В,  $V_{ds0} = 0$  В.

Здесь  $V_p$  – напряжение отсечки затвора. Так как мощности рассеяния при измерениях равны нулю, то любые различия между характеристиками ВАХ могут быть объяснены наличием задержки на затворе.

Задержка на стоке связана, в основном, с захватом носителей заряда на ловушках в буферной зоне. Для того чтобы отделить эти эффекты проводятся также две серии измерений с одинаковыми мощностями рассеяния, равными нулю. При проведении импульсных измерений ВАХ выбираются следующие две рабочие точки:

- $QR_1$ :  $V_{gs0} = V_p, V_{ds0} = 0$  В;
- $QR_3$ :  $V_{gs0} = 0$  В,  $V_{ds0} \gg 0$  В.

Примеры типичных ВАХ с эффектами задержки на затворе и стоке показаны на рисунке 10.

Паразитные эффекты захвата носителей на ловушках могут быть смоделированы с помощью эквивалентной схемы, состоящей из цепей, моделирующих задержки на затворе и стоке, которые управляются напряжением на затворе [15] для учёта влияния этих эффектов на выходной ток. Гистерезис задержек включения можно смоделировать схемой, содержащей диоды, которые отражают несимметричность времени захвата и времени эмиссии [16].

**ИЗМЕРЕНИЯ МЕТОДОМ СОГЛАСОВАННЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОРРЕКТНОСТИ МОДЕЛИ**

Измерения методом согласованных нагрузок проводят для проверки и подтверждения корректности компактной модели транзистора при сопротивлении, отличном от 50 Ом, путём изменения импедансов в тракте транзистора с последующим сравнением измеренных и смоделированных параметров.

Для достижения хорошей корреляции между измеренными и смоделированными результатами необходимо использовать систему измерения методом согласованных нагрузок с векторным приёмником (в режиме реального времени), как показано на рисунке 11. В данной системе используется векторный приёмник, калиброванный в плоскости измеряемого устройства, что позволяет измерить входной импеданс транзистора при большом уровне сигнала. Зная входной импеданс транзистора, можно согласовывать его с импедансом источника, что позволит корректно сравнить коэффициент усиления по мощности. Коэффициент усиления по мощности напрямую зависит от внутренних параметров транзистора, содержащихся в модели, в то время как коэффициент передачи является только показателем того, как согласован транзистор. Несогласованность между импедансом источника и входным импедансом транзистора может скрывать нестабильные рабочие состояния, в которых входной импеданс транзистора может оказаться отрицательным по отношению к импедансу нагрузки. Также нужно отметить, что входной импеданс изменяется в зависимости от уровня подаваемой на транзистор мощности. Данные измерения входного импеданса важны для подтверждения модели. Эффективность модели оценивается по её способности точно прогнозировать рост и/или компрессию коэффициента усиления, что является главным фактором, влияющим на линейность усилителя.

Измерения методом согласованных нагрузок во временной области также могут быть использованы для подтверждения модели [19]. В дополнение к параметрам, полученным при измерениях в частотной области, измерения методом согласованных нагрузок во временной области позволяют учитывать форму сигнала напряжения и тока, а также нагрузочные кривые. При правильной калибровке и преобразовании параметров во внутреннюю базовую плоскость транзистора радиочастотная нагрузочная кривая может быть отображена на графике и наложена на ВАХ транзистора. Это позволяет сравнить результаты измерений и моделирования, как показано на рисунке 12. Сигналы изменения напряжения и тока во времени, а также нагрузочные кривые могут быть использованы для того, чтобы выявить

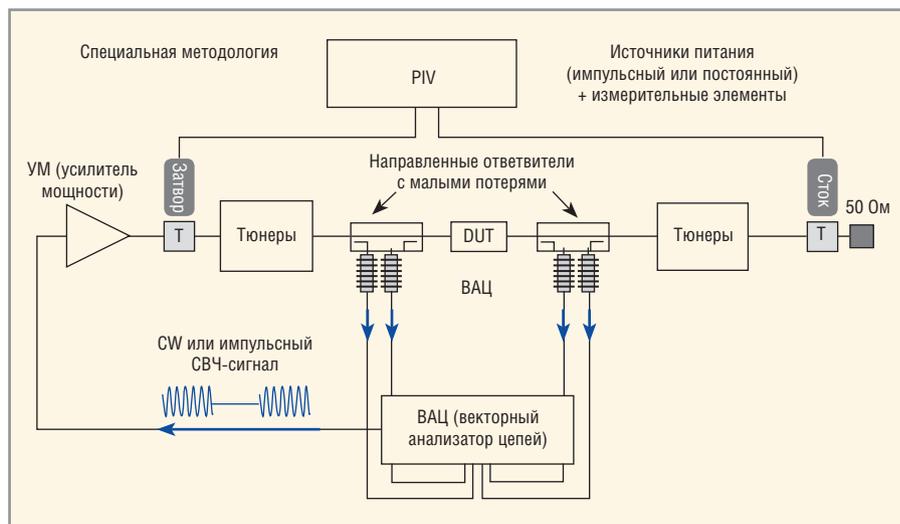


Рис. 11. Схема измерений методом согласования нагрузок на базе векторного анализатора цепей (VNA)

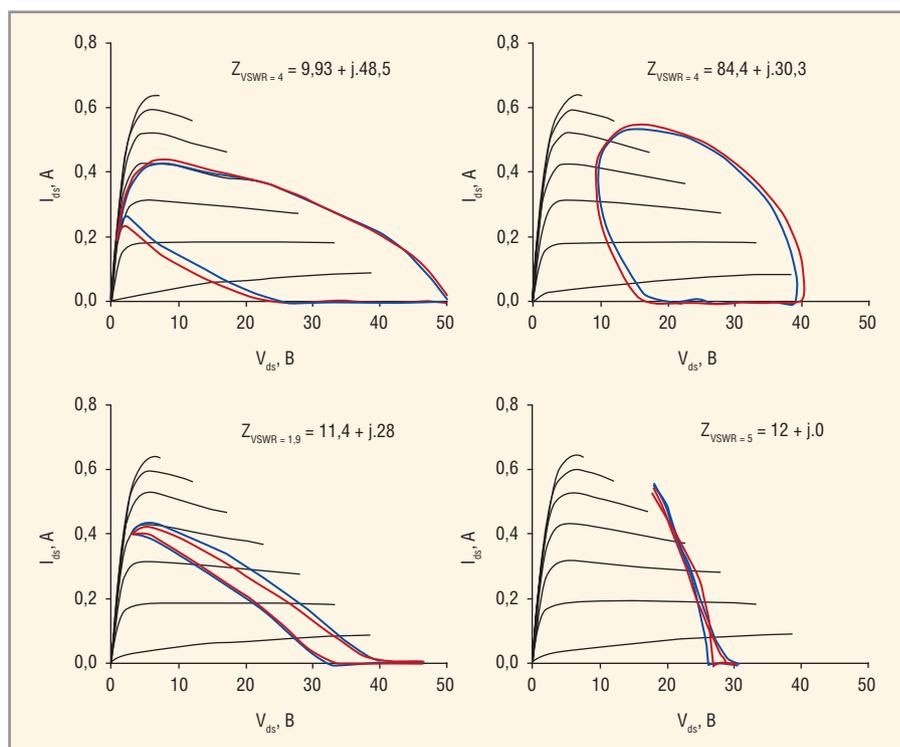


Рис. 12. Подтверждение корректности модели

факт работы транзистора вблизи точки пробоя или же для подтверждения класса рабочего режима (А, АВ, С, Е, F, F-1, G и других).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях конкурентного рынка разработчики усилителей вынуждены создавать инновационные решения в кратчайшие сроки и с максимальной эффективностью с точки зрения затрат. Это означает необходимость достижения успеха в разработке продукта с первого раза, чтобы выйти на рынок как можно раньше. Компактная модель является первым и наиболее важным шагом в процессе разра-

ботки монолитных СВЧ-интегральных схем. Использование такого типа моделей позволяет создать успешный проект без дополнительных итераций и вывести его на рынок быстрее конкурентов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Dementitroux W., Maziere C., Gasseling T., Gustavsen B., Campovecchio M., Quere Q. A New Multi-Harmonic and Bilateral Behavioral Model Taking into Account Short Term Memory Effect. Microwave Conference (EuMC). 2010. European Publication Year. P. 473–476.
2. Verspecht J., Horn J., Root D.E. A Simplified Extension of X-Parameters to Describe Memory Effects for Wideband Modu-

lated Signals. IEEE Microwave Measurements Conference (ARFTG). 2010. 75th ARFTG. P. 1–6.

3. *Rudolph M., Fager C., Root D.E.* Nonlinear Transistor Model Parameter Extraction Techniques. (The Cambridge RF and Microwave Engineering Series). Cambridge. U.K. Cambridge Univ. Press. 2012.

4. *Aaen P., Pla J.A., Wood J.* Modeling and Characterization of RF and Microwave Power FETs. (The Cambridge RF and Microwave Engineering Series). Cambridge. U.K. Cambridge Univ. Press. 2007.

5. *Dunleavy L., Baylis C., Curtice W., Connick R.* Modeling GaN: Powerful but Challenging. IEEE Microwave Magazine. 2010. October. Vol. 11. Issue 6. P. 82–96.

6. *Avolio G., Schreurs D., Raffo A., Crupi G., Angelov I., Vamini G., Nauwelaers B.* Identification Technique of FET Model Based on Vector Non-linear Measurements. IET Journal. Electronics Letters. 2011. Vol. 47. Issue 24. P. 1323–1324.

7. *Curtice W.R.* Nonlinear Modeling of Compound Semiconductor HEMTs State of the Art. IEEE MTT-S International. 2010. P. 1194–1197.

8. *Angelov I., Zirath H., Rorsman N.* A New Empirical Model for HEMT Devices. Microwave Symposium Digest. 1992. Vol. 3. IEEE MTT-S International. P. 1583–1586.

9. *Charbonniaud C., Xiong A., Dellier S., Jardel O., Quere R.* A Non Linear Power HEMT Model Operating in Multi-Bias Conditions. Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC). 2010. European. P. 134–137.

10. *Bertho M., Bosch R.* High-Frequency Equivalent Circuit of GaAs FET's for Large-Signal Applications. Transactions on Microwave Theory and Techniques 39.2. 1991. P. 224–229.

11. *Dambrine G., Cappy A., Heliodore F., Playez E.* A New Method for Determining the FET Small-Signal Equivalent Circuit. Microwave Theory and Techniques, IEEE. 1988. Vol. 36. Issue 7. P. 1151–1159.

12. *Teyssier J.P., Bouysse P., Ouarch Z., Barataud D., Peyretailade T., Quere R.* 40-GHz/150-ns Versatile Pulsed Measurement System for Microwave Transistor Isothermal Characterization. Microwave Theory and Techniques, IEEE. 1998. Vol. 46. Issue 12. P. 2043–2052.

13. *Lonac J.A., Santarelli A., Melczarsky I., Filicori F.* A Simple Technique for Measuring the Thermal Impedance and the Thermal Resistance of HBTs. Gallium Arsenide and Other Semiconductor Application Symposium. 2005. European. P. 197–200.

14. *Forestier S., Gasselting T., Bouysse Ph., Quere R., Nebus J.M.* A New Nonlinear Capacitance Model of Millimeter Wave Power PHEMT for Accurate AM/AM–AM/PM Simulations. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE. 2004. January. Vol. 14. N 1. P. 43–45.

15. *Matsunaga N., Yamamoto M., Hatta Y., Masuda H.* An Improved GaAs Device Model for the Simulation of Analog Integrated Circuit. Electron Devices, IEEE. 2003. Vol. 50. Issue 5. P. 1194–1199.

16. *Jardel O., De Groote F., Reveyrand T., Charbonniaud C., Teyssier J.-P., Floriot D., Quere R.* An Electrothermal Model for AlGaN/GaN Power HEMTs Including Trapping Effects to Improve Large-Signal Simulation Results on High VSWR. Microwave Theory Tech. 2007. Dec. Vol. 55. N 12. Pt. 2. P. 2660–2669.

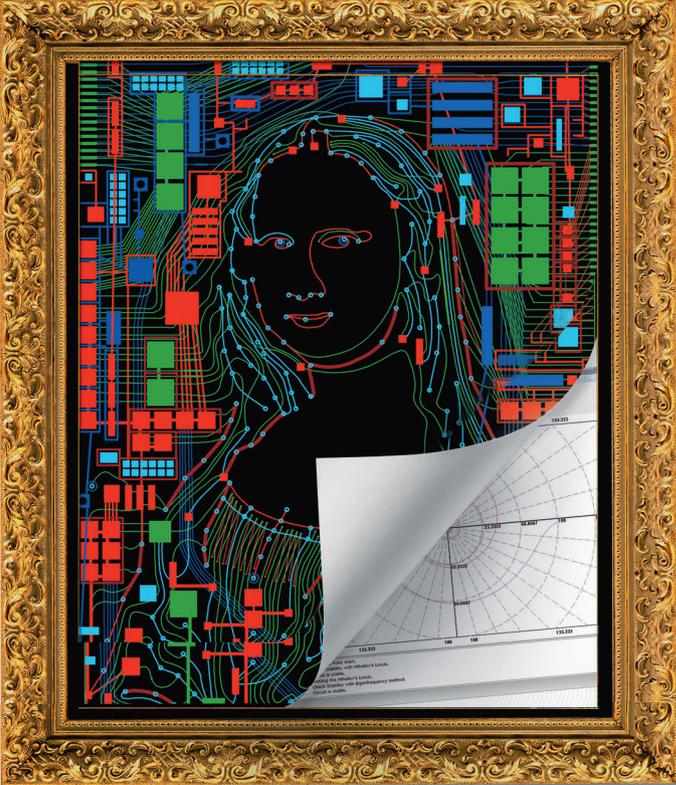
17. *Dudkiewicz S.* Vector-Receiver Load Pull Measurements. Microwave Journal. 2011. Feb. P. 88–98.

18. *Gasselting T., Barataud D., Mons S., Nebus J.M., Villotte J.P., Quere R.* A New Characterization Technique of Four Hot S parameters. IEEE MTT-S International. 2003. Vol. 3. P. 1663–1666.

19. *De Groote F., Teyssier J.P., Gasselting T., Jardel O., Verspecht J.* Introduction to Measurements for Power Transistor Characterization. IEEE Microwave Magazine. 2008. June. Vol. 9. Issue 3. P. 70–85.



# САПР





**Вер. 6.1**  
**TOPOR**

Топологический  
трассировщик  
печатных плат



**Вер. 2.3 NEW**  
**SIMONE**

Пакет моделирования  
электронных схем

Тел.: (495) 232-1864 • [www.eremex.ru](http://www.eremex.ru)

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ EREMEX**



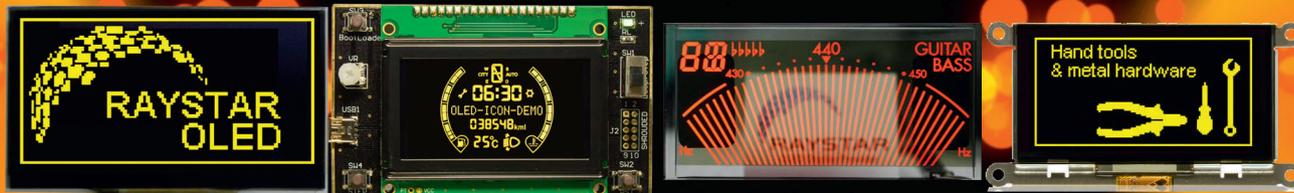
Тел.: (495) 234-0636 • [info@prosoft.ru](mailto:info@prosoft.ru) • [www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)





## Лучшая замена ЖК-панелям

### OLED-дисплеи Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

#### Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м<sup>2</sup> обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 2000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светоэмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от -40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ RAYSTAR



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



Реклама



## ЖК-дисплеи



industrial solutions  
flatpanel technology

## Предназначены для работы в жёстких условиях

#### Основные области применения

- Транспорт (автомобильный и железнодорожный)
- Специальные применения
- Морской флот
- Промышленное машинное оборудование
- Информационные терминалы



#### Основные параметры предлагаемых решений

- Размеры экранов от 10,4" до 15"
- Разрешение: VGA, SVGA, XGA
- Яркость от 500 до 1500 кд/м<sup>2</sup>
- Контрастность 500:1, 650:1
- Угол обзора до 160°
- Интерфейсы LVDS, TTL
- Диапазон рабочих температур -31...+85°C
- Диапазон температур хранения -46...+85°C

С 2013 года компания i-sft предлагает дисплейные решения только по спецификациям заказчиков.

ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ I-SFT В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ



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



Реклама

# Как упростить проектирование усилителей класса E с использованием синтеза

Мэтт Озалас, Keysight Technologies, Inc.

Создание усилителя мощности класса E может быть сложной задачей. Новый способ проектирования, описываемый в статье, предлагает более простую и быструю альтернативу традиционному подходу.

В нашей повседневной жизни мы всё чаще сталкиваемся с усилителями мощности (УМ), которые уже используются повсеместно: от беспроводных и широкополосных радиопередатчиков до Hi-Fi аудиоаппаратуры. Причина столь широкого использования их заключается в высокой эффективности, обеспечиваемой самим схемотехническим решением УМ класса E, особенно применительно к беспроводным коммуникационным устройствам. Но, к сожалению, имеется и ряд недостатков. В частности, УМ класса E очень сложны в разработке, а их проектирование связано с целым рядом сложностей, решение которых существенно увеличивает срок разработки. Предлагаемый метод синтеза обещает сократить время и упростить сам процесс разработки УМ класса E.

## Топология УМ класса E: Немного теории

Первоочередным требованием для начала проектирования УМ класса E является четкое понимание принципов его работы. В отличие от привычных нам УМ, класс E, для обеспечения надёжной работы которого следует

учитывать такой параметр, как скважность, подразумевает использование выходного транзистора в роли ключа, коммутирующего подачу основной частоты (см. рис. 1). Последовательный LC-контур на выходе действует как короткозамкнутая цепь для основной частоты и как разомкнутая цепь для гармоник. В результате в цепи протекает синусоидальный ток одной частоты.

Когда ключ замкнут, через него протекает ток  $I_{sw}$ , равный сумме постоянного  $I_{DC}$  от источника напряжения  $V_{DC}$  и переменного, проходящего через LC-контур. Когда ключ разомкнут, переменный ток протекает через конденсатор C1, при этом напряжение представляется как интеграл протекающего тока (см. рис. 1).

Если усилитель спроектирован правильно, то представленная ключевая схема теоретически может иметь КПД равный 100%. Но при этом существует проблема, заключающаяся в том, что амплитуда тока и напряжения может во много раз превышать номинал источника питания (см. рис. 2). Например, если ключ переключается в средней точке (скважность 50%), то пиковые значения тока и напряжения в несколь-

ко раз превышают ток и напряжение источника питания, что в свою очередь может привести к превышению предельных параметров транзистора, и, вследствие этого, к его отказу.

Разработчики стараются избежать описанной ситуации. Поэтому для успешной реализации УМ класса E следует рассчитывать амплитуду тока и напряжения при всех возможных режимах работы. Но сделать это не так просто. Уравнения, описывающие работу УМ класса E и учитывающие зависимость от скважности, получаются громоздкими, а это значит, что их решение представляется в графическом формате или в виде аппроксимации через полином. Часто разработчики вынуждены вручную интерполировать нормализованные значения из полученных графиков, а это может отрицательно сказаться на точности и времени проектирования.

## Традиционный подход: моделирование работы УМ при изменении нагрузки

В большей своей массе УМ проектируются с применением простого подбора параметров в зависимости от импеданса нагрузки. Суть методики проста и заключается в изменении импеданса нагрузки в некоторых пределах, построении соответствующих кривых мощности и КПД и фиксации на их основе значения нагруз-

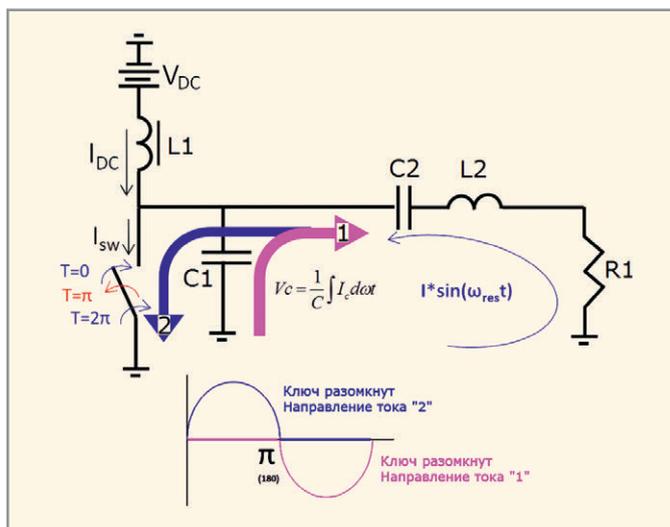


Рис. 1. Типовая схема УМ класса E

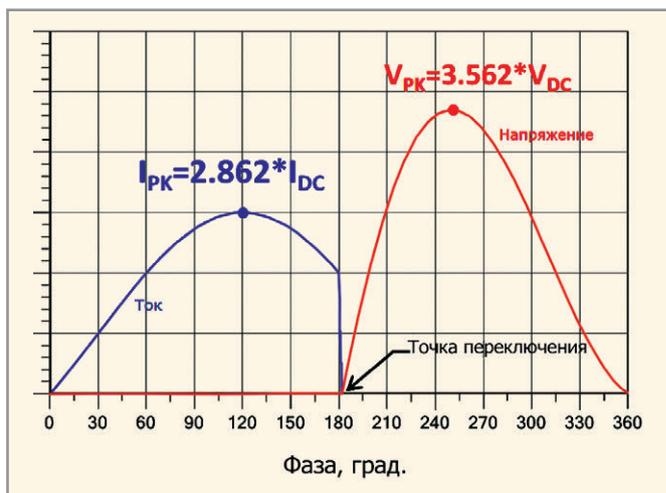


Рис. 2. Амплитуда тока и напряжения при ключевом режиме работы транзистора в схеме УМ класса E

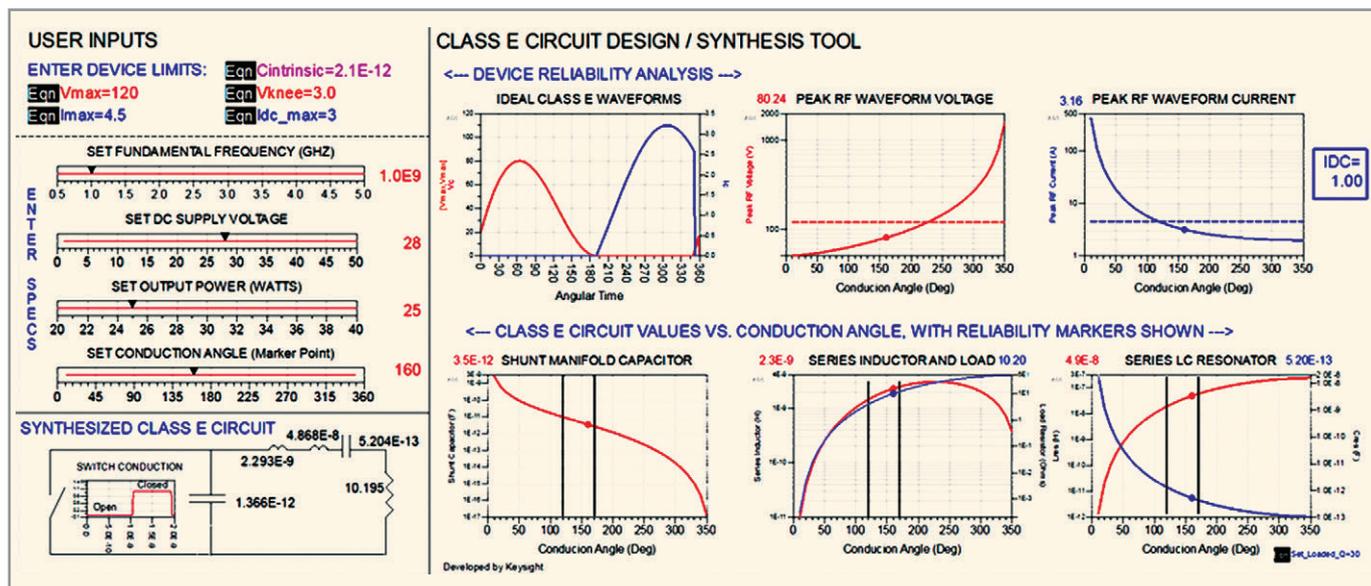


Рис. 3. Рабочая область утилиты синтеза УМ класса E в САПР Keysight ADS

ки, которое обеспечивает требуемые характеристики. К сожалению, эта методика не очень хорошо работает при проектировании сложных ключевых режимов, которые применяются в усилителях класса E.

Характеристики УМ класса E зависят от очень точного согласования импеданса на различных частотах, а также от соотношения уровня входного сигнала и напряжения смещения, которое определяет скважность. Чтобы найти столь специфическую комбинацию простым подбором (например, путём моделирования нагрузки), нужно обработать огромные объёмы данных. И даже если удастся это сделать, нет гарантии, что модель будет адекватна для всех комбинаций напряжения питания и импеданса. Существуют комбинации параметров, при которых разработанную модель применять нельзя, поскольку устройство может быть нестабильно, или саму модель не удастся получить. Поэтому при использовании традиционного подхода разработчики должны обладать высокой квалификацией и профессиональным опытом и чётко интерпретировать полученные в процессе моделирования данные. По этой причине для начального проектирования усилителей класса E желательно использовать более скрупулёзный подход. В чём он должен заключаться?

### Новый подход на основе синтеза: более точный и надёжный

Как точно спроектировать усилитель класса E без традиционного модели-

рования и ручной интерполяции графиков нормализованных уравнений? Ответом является интерактивный, основанный на синтезе процесс проектирования, использующий основные принципы для получения очень точного прогнозирования параметров усилителя по начальному набору уравнений и правил. Этот процесс позволяет разработчикам усилителей быстрее достичь начальных условий проектирования.

На первом этапе выполняется синтез схемы полностью на основе уравнений переходных процессов. На втором – схема проверяется с применением идеализированных компонентов схемы УМ. На третьем этапе параметры тока и напряжения во временной области ставятся в соответствие импедансу гармоник в заданной частотной области. В завершение используются средства проектирования для оптимизации схемного решения в соответствии с требуемыми значениями импеданса для нескольких первых гармоник.

Ключевым аспектом этого подхода является выбор инструмента синтеза (см. рис. 3). В идеале этот инструмент должен иметь утилиту, позволяющую интерактивно решать уравнения, описывающие работу УМ класса E, чтобы синтез схемы выполнялся в режиме реального времени на основе исходных данных для проектирования. С помощью такой утилиты разработчик может ввести параметры устройства (например, максимальное напряжение и ток, напряжение насыщения и внутренние паразитные ёмкости) и указать технические характеристики (например, частоту, напряжение питания, выход-

ную мощность и угол проводимости). Затем инструмент синтеза использует эту информацию для синтеза идеальной схемы класса E. Например, САПР Keysight ADS [1] позволяет синтезировать электрическую схему, отображая такие основные параметры, как форма тока и напряжения на транзисторе, включая их анализ с точки зрения области безопасной работы ключа.

Такой инструмент синтеза позволяет строить зависимости тока от угла проводимости и указывать маркерами допустимый диапазон, в котором усилитель может работать надёжно. Углы проводимости между маркерами допустимы, а за пределами маркеров – нет. Если работа при определённом угле проводимости невозможна, разработчику выводится сообщение с предупреждением. Такая гибкость проектирования жизненно важна для обеспечения надёжной работы устройства при одновременном соблюдении заданных характеристик УМ класса E.

### Новый подход в действии

Чтобы лучше понять, как именно работает этот четырёхэтапный процесс, рассмотрим пример проектирования УМ класса E на основе GaN СВЧ-транзистора от компании Cree, используя, в том числе, САПР Keysight ADS. СВЧ-транзистор имеет напряжение пробоя 120 В, собственную ёмкость 2,1 пФ, максимальное же значение переменного и постоянного тока составляет 4,5 и 3 А соответственно. Кроме того, модель транзистора, предоставляемая производителем, наиболее полно описывает физическое

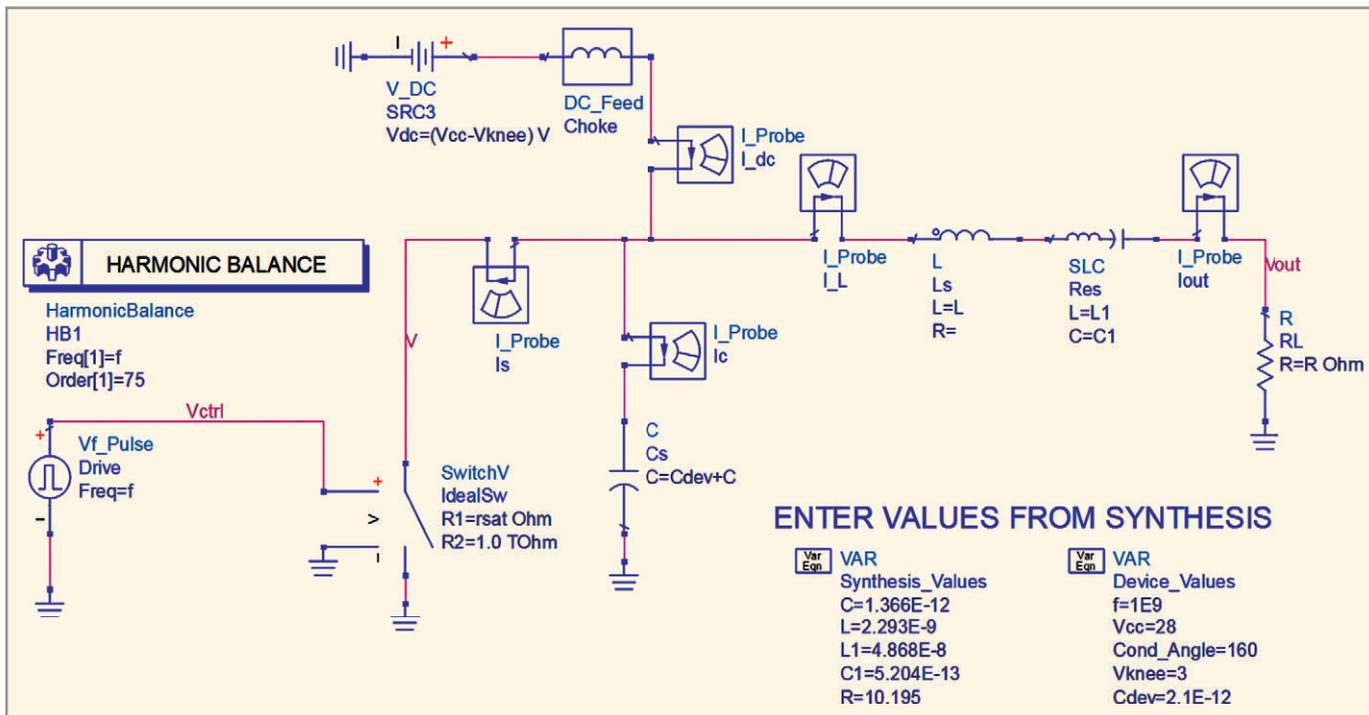


Рис. 4. Синтезированная идеальная схема

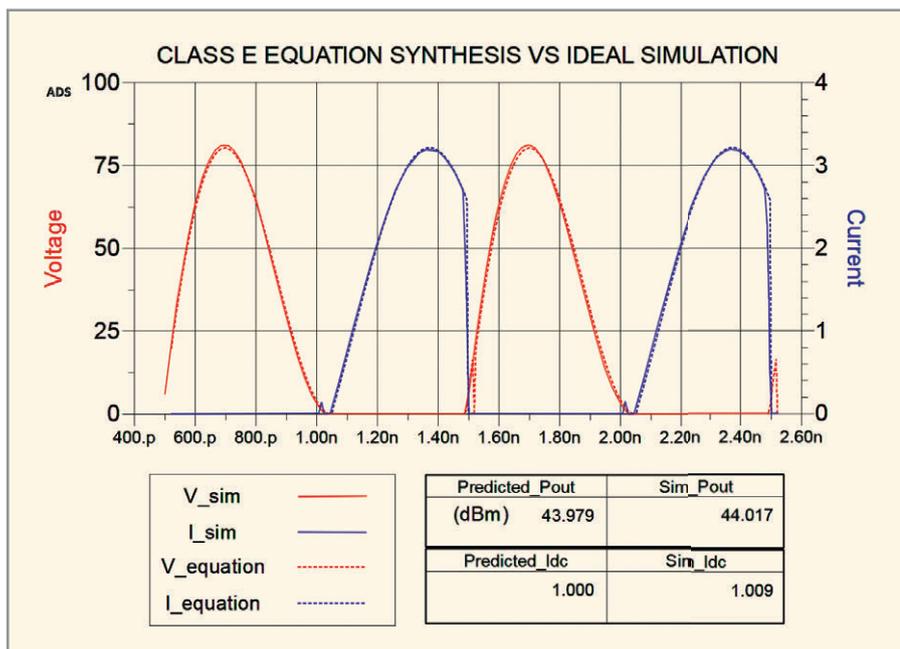


Рис. 5. График проверки синтезированной идеальной схемы (сплошные линии на графике соответствуют результатам моделирования, а пунктирные линии предсказаны по уравнениям синтеза; при этом КПД составляет около 99,9 %)

поведение полупроводникового прибора, что позволяет более точно синтезировать УМ.

**Шаг 1: синтез схемы по уравнениям переходного режима**

Для создания схемы в САПР ADS вводится область возможных значений параметров для безопасной работы синтезируемого устройства, а также значение собственной ёмкости. Затем с помощью ползунковых регуляторов (см. рис. 3) устанавливается частота

1 ГГц, напряжение источника питания 28 В и выходная мощность 25 Вт. САПР ADS выводит диапазон углов проводимости, который можно использовать для этой схемы. В данном случае он составляет 120–170. Если угол проводимости станет меньше 120, то ВЧ ток превысит предельное значение для устройства. Если угол проводимости превысит 170, то необходимое значение шунтирующего конденсатора станет меньше собственной паразитной ёмкости устройства. Интерактивность

процесса даёт более полное понимание компромиссов и накладываемых ограничений, помогая избежать ошибок на последующих этапах проектирования. В рассматриваемом варианте выбирается угол отсечки 160, и мы получаем идеальную схему класса E (см. рис. 4).

**Шаг 2: проверка схемы с помощью идеализированной модели**

Целью этой проверки является согласование сигналов переменного тока и напряжения, мощности и постоянного тока так, чтобы затем схему можно было реализовать физически. Всегда полезно сначала проверить схему в идеальной среде, а уже потом переходить к её реализации на реальных компонентах. В данном случае схема проверялась с помощью простых средств моделирования. Транзистор моделировался с помощью ключевого компонента и параметров схемы, взятых из инструмента синтеза, а затем выполнялось моделирование гармонического баланса. Из графика, изображённого на рисунке 5, видно, что результаты моделирования хорошо согласуются с предсказанными. На этом проверка закончена.

**Шаг 3: параметры тока и напряжения во временной области ставятся в соответствие импедансу гармоник в заданной частотной области**

Для создания реального усилителя идеальная схема дополняется физи-

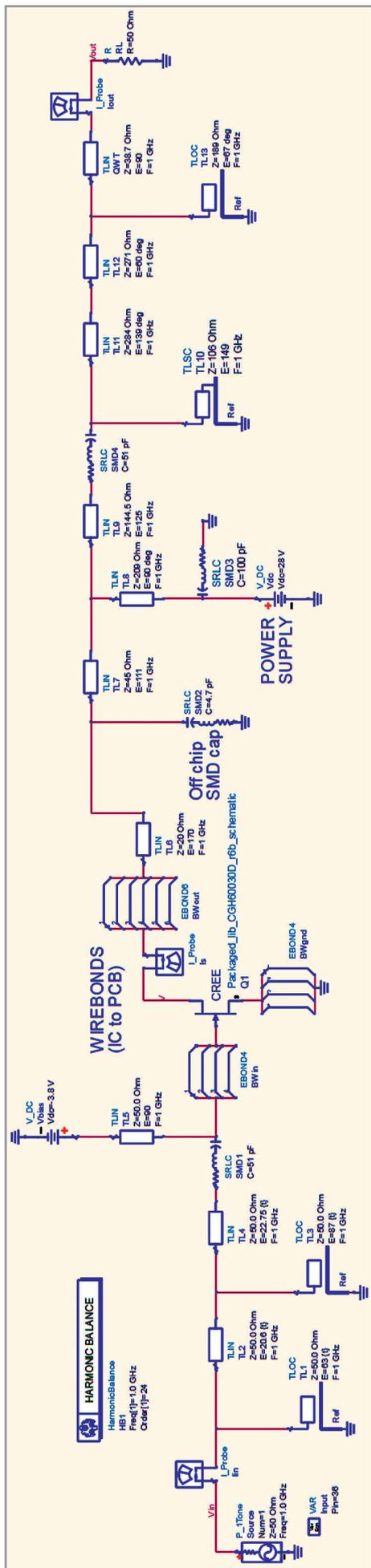


Рис. 6. Синтезированная физическая схема УМ класса E, построенная на базе GaN транзистора компании Cree

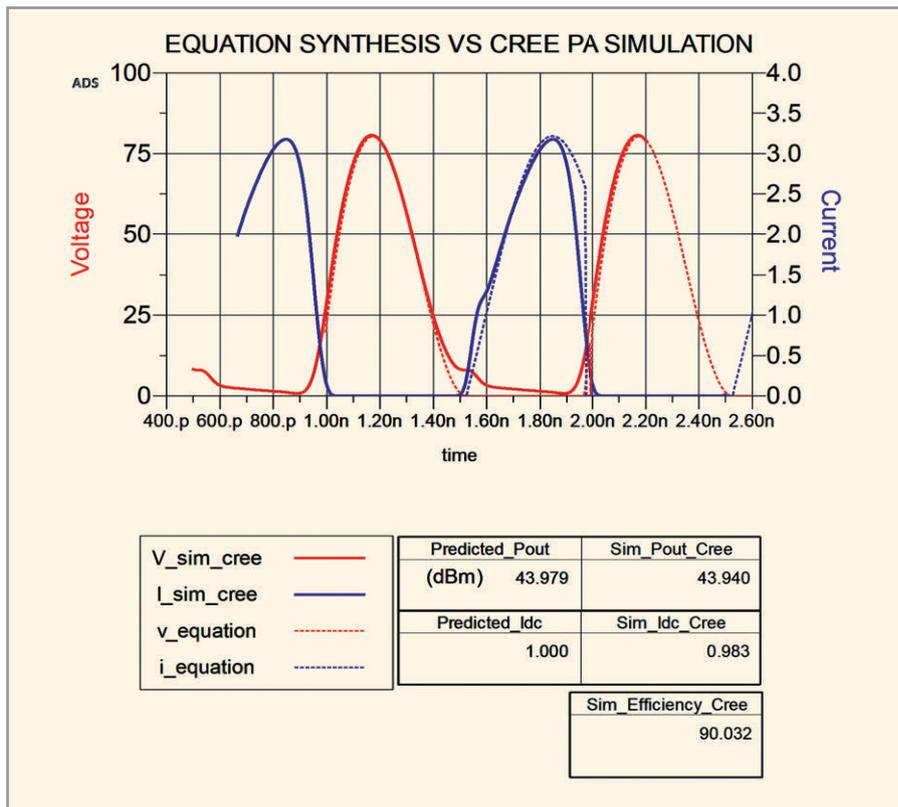


Рис. 7. График соответствия между прогнозом и результатами работы модели схемы УМ класса E

ческими параметрами. Это делается путём применения преобразования Фурье к моделируемым сигналам тока и напряжения усилителя класса E, а затем согласования результирующих гармонических импедансов в частотной области на шаге 4.

**Шаг 4: применение средств проектирования для оптимизации схемного решения в соответствии с требуемыми значениями импеданса для нескольких первых гармоник**

На этом, последнем, этапе любая полученная ранее схема с требуемым значением импеданса частотных гармоник может быть представлена реальными компонентами. Существует множество схемотехнических решений, которые потенциально могут удовлетворять установленным параметрам. Для проверки полученного решения разработчику обычно достаточно согласовать несколько первых гармоник.

На рисунке 6 показана физическая схема, созданная при выполнении вышеописанных действий. Для подключения к СВЧ-транзистору использовались компоненты EBOND (модель контактных линий подключения транзистора к печатной плате). Во всех

остальных случаях соединения компонентов использовались простые линии передачи.

Форма сигналов, полученных в ходе моделирования физической схемы, оказалась сходной с идеализированной схемой (см. рис. 7). Кроме того, эти результаты точно соответствуют исходному прогнозу утилиты синтеза, использованной на шаге 1, что особенно важно для разработчиков.

Короткий видеоролик, описывающий предлагаемый подход более подробно, можно посмотреть по ссылке, приведённой в списке литературы [1]. На той же странице можно загрузить бесплатную копию рабочей среды Keysight ADS.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Хотя создание УМ класса E может быть сложной задачей, новый способ проектирования предлагает более простую и быструю альтернативу традиционному подходу. Он позволяет разработчикам существенно упростить первичный анализ разрабатываемого УМ, что впоследствии сократит время разработки и повысит надёжность конечного изделия.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. www.keysight.com/find/eesof-how-to-pa-series.

# Solid Edge в приборостроении

Павел Демидов (Москва)

Приборостроительные предприятия всё чаще сталкиваются с необходимостью сокращения сроков разработки инновационных, высококачественных, безопасных и простых в эксплуатации изделий. Использование системы Solid Edge® от Siemens PLM Software позволяет повысить скорость проектирования изделий, проводить анализ и виртуальные испытания разработок и гарантировать соблюдение требований к их качеству. В статье рассматриваются возможности Solid Edge, позволяющие интуитивно понятным образом моделировать качественные изделия и сокращать сроки их выхода на рынок.

## Синхронная технология

Синхронная технология, одно из главных преимуществ Solid Edge, объединяет лучшие черты параметрического и прямого моделирования.

Конструктивные элементы не зависят от порядка их создания в модели и, по сути, являются наборами граней, поэтому их редактирование или удаление влечёт лишь локальный пересчёт модели, а не её перестроение в целом.

Редактировать геометрию можно либо непосредственно перемещая и вращая грани, либо определяя управляющие 3D-размеры (см. рис. 1).

Поведение модели при редактировании (например, сохранение симметрии детали, поддержание соосности отверстий и тому подобное) определяется функциями распознавания конструкторского замысла – технологией автоматического распознавания и поддержания геометрических связей модели.

Поскольку модель в синхронной среде Solid Edge представляет собой набор граней, а не строится на основе дерева модели, то для работы с геометрией,

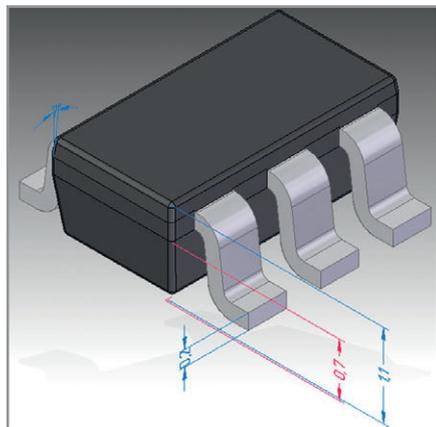


Рис. 1. Управляющие 3D-размеры на модели электронного компонента

созданной в сторонних САПР, информации о дереве построения не требуется. Редактирование импортированной геометрии будет осуществляться с помощью тех же инструментов, что и для геометрии, созданной непосредственно в Solid Edge.

## Моделирование изделий из листового металла

Важной частью современных приборов, помимо непосредственно электронной «начинки», являются корпуса, кожухи, шасси и тому подобное. Solid Edge обеспечивает пользователей функционалом, необходимым для проектирования подобных деталей любой сложности.

Solid Edge является признанным лидером среди средних САПР в области моделирования деталей из листового материала. Уникальный набор команд для моделирования элементов листовой штамповки не требует создания дополнительных элементов формы.

После создания модели проектировщик может построить развёртку детали. Развёртка экспортируется в формат DXF, а затем на основании этой информации составляется управляющая программа для гибочного станка с ЧПУ.

Возможности синхронного моделирования доступны и в среде листовой детали, что позволяет проектировщику с лёгкостью создавать и редактировать геометрию, в том числе и импортированную.

## Сложные элементы пластиковых деталей

Solid Edge располагает богатым набором инструментов для моделирования и анализа поверхностей деталей сложной формы, получаемых литьём пла-

стика или сложной механообработкой металла.

Одна из сильных сторон Solid Edge – возможность поверхностного моделирования. Задавая для поверхностей исходную геометрию и редактируя характерные точки, конструктор добивается необходимой формы поверхности. Кроме того, Solid Edge имеет встроенные инструменты анализа, используемые проектировщиками пластмассовых деталей и оснастки, такие как анализ радиуса кривизны и «зебра» для визуальной оценки качества сопряжения поверхностей.

Для создания сложных конструктивных элементов, таких как решётки, ребра жёсткости, опоры для крепежа, в Solid Edge существует набор команд, который позволяет создавать подобные элементы буквально за несколько кликов. С помощью этих команд проектировщик может значительно сократить время создания модели.

## Анализ собираемости изделия

Для проверки принципиальной возможности сборки изделия в Solid Edge предусмотрены специальные инструменты: проектировщик может проверить пересечения отдельных компонентов сборки либо провести анализ на допустимые зазоры с помощью сенсоров – специальных инструментов для контроля значений критических размеров.

## Электропроводка

Solid Edge предоставляет широкие возможности проектирования и документирования жгутов и кабелей. Для этих задач предназначена среда *Электропроводка*.

Предусмотрены два режима ввода параметров проводки: ручной и автоматический. В ручном режиме проектировщик сам указывает начальные и конечные точки трасс проводников. В режиме автоматического создания трасс параметры берутся из файла XML, полученного из электротехнической САПР (в Solid Edge есть шаблоны для импорта файлов нескольких распространённых САПР: Bentley promis•e, Mentor Graphics VeSys, Zuken E3.series). После создания трасс и определения параметров проектировщик создаёт

# ПРОСТАЯ МАТЕМАТИКА

Задача:  
переход на современное 3D-проектирование

Решение:



Solid Edge®  
Foundation



NORMACS  
НормаАудит



nanoCAD  
Механика



Обучение



Техническая  
поддержка

= 119 000 руб.

- Хотите быстрее и эффективнее работать с большими сборками, создавать чертежи в несколько кликов и ускорить проектирование изделий?
- Думаете, как повысить производительность и сократить время разработок?

Пакеты «Простая математика» включают все необходимое для эффективного перехода на современное 3D-проектирование.

**Предложение действует до 30 сентября 2015 года.**

**Подробнее — на сайте [cadpromo.ru](http://cadpromo.ru)**

 **NANOSOFT**  
DISTRIBUTION

Solution  
Partner

PLM

**SIEMENS**

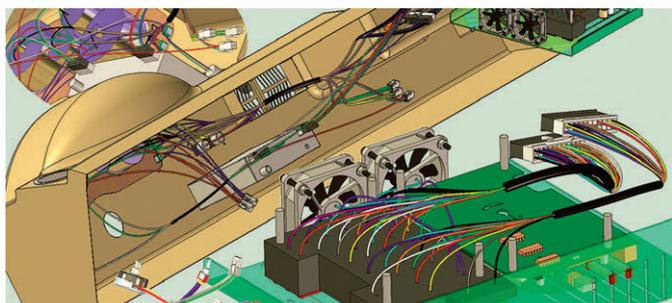


Рис. 2. Проектирование кабелей и жгутов в Solid Edge

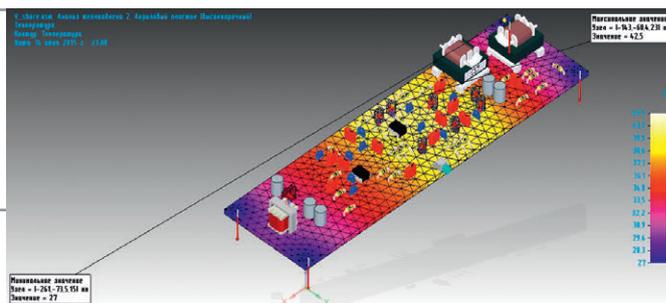


Рис. 3. Тепловой расчёт печатной платы

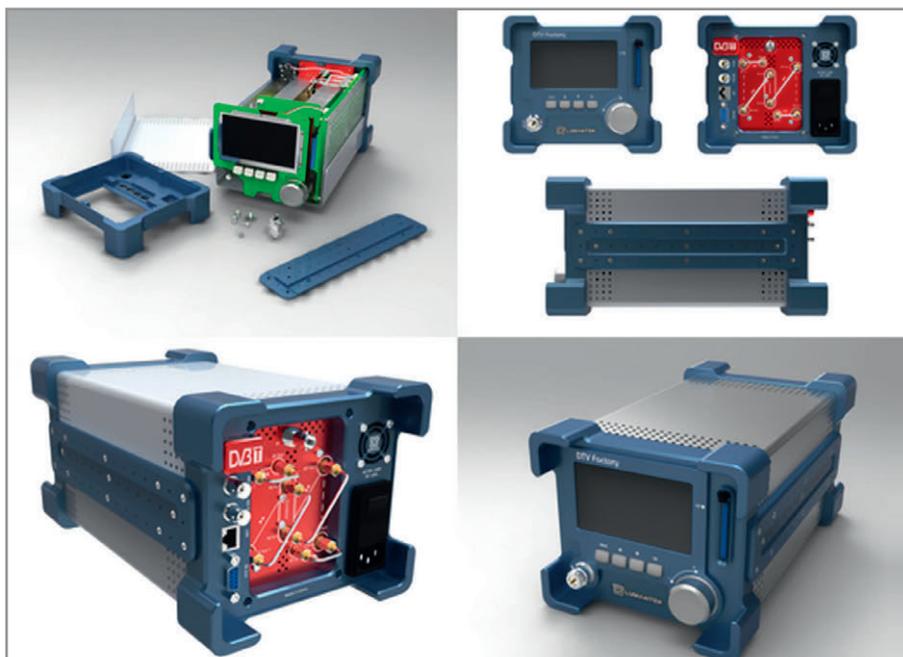


Рис. 4. Создание фотореалистичных изображений в KeyShot

провода, которые затем можно объединить в жгуты и кабели (см. рис. 2).

Для развёртки пространственной электропроводки на плоскости служит инструмент *Монтажный стол*. Кроме вида электропроводки на монтажном столе возможно создание вида разёма, вставка таблицы контактов и таблицы проводников. Кроме того, есть возможность создать пользовательскую таблицу, содержание и структуру которой пользователь определяет самостоятельно.

### Расчёты

С помощью встроенного приложения для конечно-элементного анализа Solid Edge Simulation проектировщик имеет возможность проводить базовые прочностные и тепловые расчёты изделий (см. рис. 3). Это приложение основано на решателе NX Nastran, де-факто ставшем стандартом отрасли.

Постпроцессор Solid Edge Simulation содержит множество графических настроек отображения результатов, что обеспечивает наглядное представление расчётного поведения модели.

### Инструкции по сборке и визуализация

Для создания разнесённых видов, иллюстрирующих порядок сборки, состав изделия и взаимосвязи между отдельными элементами, предназначена специальная среда Solid Edge: *Разнесение-Закраска-Анимация*. С её помощью пользователь создаёт разнесённые виды необходимой степени детализации, которые затем можно отобразить на чертежах. Кроме того, можно записать анимацию процесса сборки-разборки в видеофайл, что даёт возможность упростить изготовление и сопровождение изделия.

С помощью приложения KeyShot, поставляемого вместе с Solid Edge, можно создавать фотореалистичные изображения изделий, использующиеся в рекламных и маркетинговых материалах (см. рис. 4).

### Разработка конструкторской документации

Solid Edge имеет развитый функционал для разработки конструктор-

ской документации, отвечающей отечественным стандартам.

Ассоциативная связь между чертежом и моделью, по которой он был создан, позволяет быстро вносить изменения в документацию при изменении модели. Кроме того, чертёж можно выполнить «с нуля», независимо от трёхмерных моделей, а также дополнить существующий чертёж построениями, не связанными с моделью детали или сборки.

### Интеграция с ECAD

Для обмена данными между САПР механической (MCAD) и электронной (ECAD) частей изделия используются форматы STEP (Standard for Exchange of Product Model Data – стандарт обмена данными модели изделия) и IDF (Intermediate Data Format – формат промежуточных данных).

Формат STEP позволяет создавать точные модели изделий высокой сложности, что делает его незаменимым при обмене данными в целях проектирования и предпроизводственной проверки. Особенностью формата IDF является поддержка двустороннего обмена данными, что при необходимости позволяет многократно вносить изменения в проект.

С помощью модулей, расширяющих функционал Solid Edge в части поддержки формата IDF, можно импортировать печатные платы из файлов IDF, а также осуществлять процесс обратной передачи сборки в формат IDF для использования в ECAD. Одним из таких модулей является Solid Edge IDF Modeler компании Desktop EDA [1].

Формат IDF сохраняет данные о плате в двух файлах:

- в файле платы, содержащем информацию о контуре платы, её запрещённых зонах, параметрах отверстий и расположении на ней элементов;
- в файле библиотеки, содержащем информацию о контуре и высоте компонентов.

На основе данных этих файлов Solid Edge IDF Modeler строит сборку печатной платы. Модуль либо формирует упрощённые модели компонентов (см. рис. 5а), либо размещает на плате точные представления компонентов, если есть библиотека соответствующих деталей в формате Solid Edge (см. рис. 5б).

Теперь над полученной сборкой можно работать с использованием средств Solid Edge:

- проводить инженерный анализ печатной платы;
- проводить анализ собираемости в сборке более высокого уровня;
- выпускать конструкторскую документацию;
- создавать фотореалистичные изображения средствами KeyShot.

Если конструкция платы была изменена в Solid Edge (например, изменилось положение компонентов на плате), её можно экспортировать обратно в формат IDF. В результате экспорта будут сформированы новые файлы платы и библиотеки, которые затем можно импортировать в ECAD.

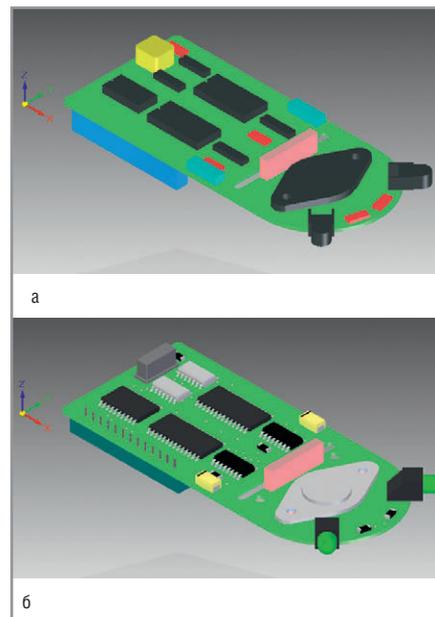
Начать разработку электронного изделия можно с создания в Solid Edge печатной платы. Такая необходимость возникает, если электронный компонент создаётся в контексте существующей сборки. Команды модуля Solid Edge IDF Modeler позволяют наделять деталь атрибутами формата IDF, необходимыми для последующего экспорта в ECAD (отверстия, технологические вырезы, зоны Keerout и Outline). После создания детали и задания ей атрибутов, изделие можно сохранить как файл платы IDF для дальнейшего проектирования в ECAD-системе.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, Solid Edge включает в себя широкий набор инструментов для проектирования изделий приборостроения практически любой сложности: от 3D-моделей электронных компонентов до целых электронных модулей и ячеек.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. www.desktop-eda.com.au.
2. Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Соловьев В.А., Курносенко А.Е. Основы конструирования в Solid Edge. Пособие по проектированию изделий в приборостроении. М. ДМК Пресс. 2014. С. 272.
3. Solid Edge с синхронной технологией – будущее 3D-моделирования уже сегодня. Брошюра.



**Рис. 5. Импорт печатной платы из IDF:**  
а – с упрощёнными компонентами; б – с точными представлениями компонентов

ванию изделий в приборостроении. М. ДМК Пресс. 2014. С. 272.

3. Solid Edge с синхронной технологией – будущее 3D-моделирования уже сегодня. Брошюра.



# НОВИНКА!

## 25-ваттные DC/DC-преобразователи Interpoint® MFK Series™



- Широкий диапазон входного напряжения от 16 до 50 В
- Удельная мощность до 2570 Вт/дм³
- 11 значений выходного напряжения от 1,8 до 28 В
- Одно- и двухканальные модели
- КПД до 87%
- Трансформаторная развязка в контуре обратной связи
- Диапазон рабочих температур от -55 до +125°C
- Обширный ряд сервисных функций



**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CRANE ELECTRONICS В РОССИИ**

# ProSoft®

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



# Новое в OrCAD 16.6-2015

Анатолий Сергеев (Москва)

В 2015 г. программе OrCAD исполняется 30 лет. Разработчик программы, американская компания Cadence Design Systems Inc., отмечает юбилей масштабным обновлением и выходом новых приложений под брендом OrCAD. В 2014 г. уже появились OrCAD Library Builder, OrCAD Engineering Data Management и OrCAD Documentation Editor. Далее в статье речь пойдёт о новинках OrCAD 2015.

OrCAD появился в 1985 г. как схемотехнический редактор STD Schematic. Позднее в состав программы вошли редактор топологии Layout, автотрассировщик SPECCTRA и модуль аналого-цифрового моделирования PSpice. В 1999 г. программный комплекс OrCAD приобретает компания Cadence Design Systems Inc. Но у Cadence на тот момент была собственная разработка – Allegro PCB Designer. В 2009 г. было принято решение о переводе OrCAD и Allegro на единую программную платформу с общим редактором топологии, что упростило переход от одной системы к другой. В настоящий момент OrCAD и Allegro входят в единую программную платформу Cadence Silicon Package Board (SPB) и представляют собой полнофункциональное масштабируемое решение для разработки печатных плат разной степени сложности. При необходимости OrCAD PCB Designer может быть обновлён до версии Allegro PCB Designer без каких-либо потерь данных, так как трансляции при этом не требуется – форматы библиотек и проектов одинаковы. Allegro PCB Designer ком-

плектуется дополнительными опциями (см. рис. 1).

На протяжении 30 лет программа OrCAD активно развивалась. Её возможности значительно возросли благодаря технологиям Allegro. В этом году выходит новая версия OrCAD PCB Designer 16.6-2015, возможности которой будут на уровне базовой версии Allegro PCB Designer. Это означает поддержку широкого набора инструментов для трассировки высокоскоростных проектов. В системе ограничений Constrain Manager (DRC) OrCAD станут доступны такие правила, как Min/Max Propagation Delay, Relative Propagation Delay, Net Schedule, Impedance и другие. Появится контроль этих правил в режиме реального времени с динамической шкалой изменения трасс по длине (см. рис. 2). Будет доступен новый режим Shape Edit с продвинутыми функциями по редактированию полигонов, новая функция по размещению массива переходных отверстий с гибкими настройками. Все эти и другие функции, ранее доступные только пользователям Allegro PCB

Designer, войдут в состав OrCAD PCB Design Professional 16.6-2015. Помимо этого Cadence расширяет портфолио OrCAD за счёт выпуска новых программ.

## COMPONENT INFORMATION PORTAL (CIP)

Ключевым инструментом по работе с базой данных электронных компонентов является OrCAD Capture CIS (Component Information System). Эта система позволяет вести общую локальную БД компонентов предприятия, создавать схему на основе проверенных компонентов, генерировать точный перечень элементов и спецификацию. Система OrCAD CIS успешно внедряется многими ведущими отечественными и зарубежными предприятиями. Компания Cadence выпускает на рынок новый продукт – OrCAD Component Information Portal (CIP). Эта программа предназначена для администрирования, контроля и наполнения БД OrCAD CIS. В её состав входит система управления правами доступа к редактированию атрибутов компонентов, ведения истории изменения и учёта новых версий. Важнейшей функцией CIP является возможность заполнять карточку атрибутов компонентов напрямую из онлайн-каталогов ведущих поставщиков ЭРИ: Farnel, Digi-Key, Mouser, Arrow и других (см. рис. 3).

Через CIP администраторы БД могут проводить все необходимые проверки компонентов на целостность и досто-

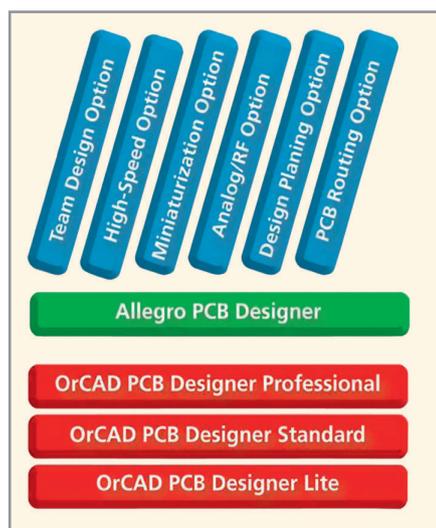


Рис. 1. Основные конфигурации OrCAD и Allegro

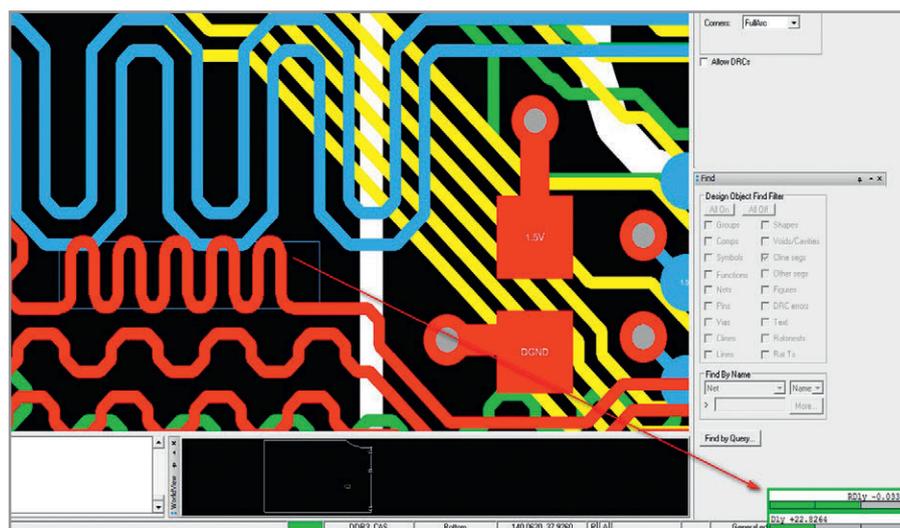


Рис. 2. Контроль длины трассы в реальном времени

верность данных. Они могут устанавливать статус компонентам как утвержденным, так и находящимся на проверке или готовым к применению. Для создания новых компонентов через CIP можно запустить OrCAD Library Builder. OrCAD CIP работает как напрямую в OrCAD Capture CIS, так и через стандартные интернет-браузеры (IE, Chrome, Firefox и так далее). Модуль OrCAD CIP Importer позволит синхронизировать инженерную БД компонентов в OrCAD Capture CIS с БД компонентов в системе документооборота. Это готовое решение для двусторонней передачи данных между OrCAD Capture CIS и системами ERP/PDM/PLM для организации общей инфраструктуры и интеграции бизнес-процессов.

### OrCAD CAPTURE CONSTRAINT SYSTEM

В этом году выходит новая система ограничений OrCAD Capture Constraint System (CCS) для схемотехнического редактора OrCAD Capture. Эта система в OrCAD Capture CIS будет доступна в виде новой функциональной панели и дополнительного интерфейса для

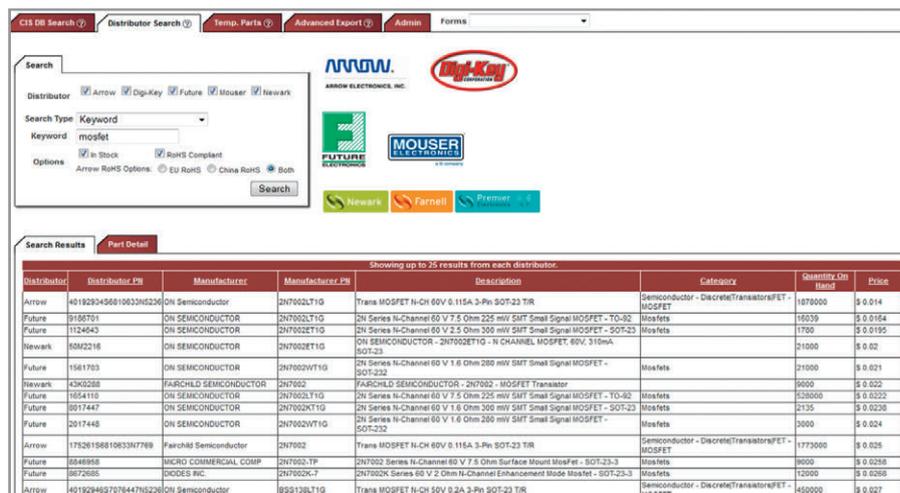


Рис. 3. Поиск компонентов в онлайн-каталогах поставщиков ЭПИ через OrCAD CIP

ввода правил проектирования топологии на схеме (см. рис. 4).

В OrCAD CCS будет легко управлять различными видами ограничений Physical, Spacing, Electrical, Diff Pairs и другими. Проверка введенных ограничений на ошибки позволит сформировать нетлист и вместе с ним передать ограничения в OrCAD PCB Editor для использования в Constraint Manager. Таким образом разработчики смогут повлиять на

трассировку наиболее важных цепей и компонентов, так как трассировка будет осуществляться на основе заданных ими ограничений. В дальнейшем с целью оптимизации топологии ограничения могут быть дополнены и отредактированы в Constraint Manager.

### OrCAD Sigrity ERC

Новый программный модуль для проверки электрических характери-

**OrCAD™**  
CADENCE PCB SOLUTIONS

**30 лет успеха**

**Юбилейное предложение для конструкторов печатных плат:**

**новая версия OrCAD PCB Designer - от 99 000\* рублей**

**(экономия от 40 000 до 100 000 рублей)**

Передовые технологии  
Поддержка российских стандартов  
Трансляция из P-CAD  
Новые уникальные модули Orcad Capture Marketplace

\*Цена указана без учета НДС и действует до 31 декабря 2015 года

**cadence®**

Техническая поддержка Обучение Дизайн-проекты

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

**orlda**

CADENCE CHANNEL PARTNER

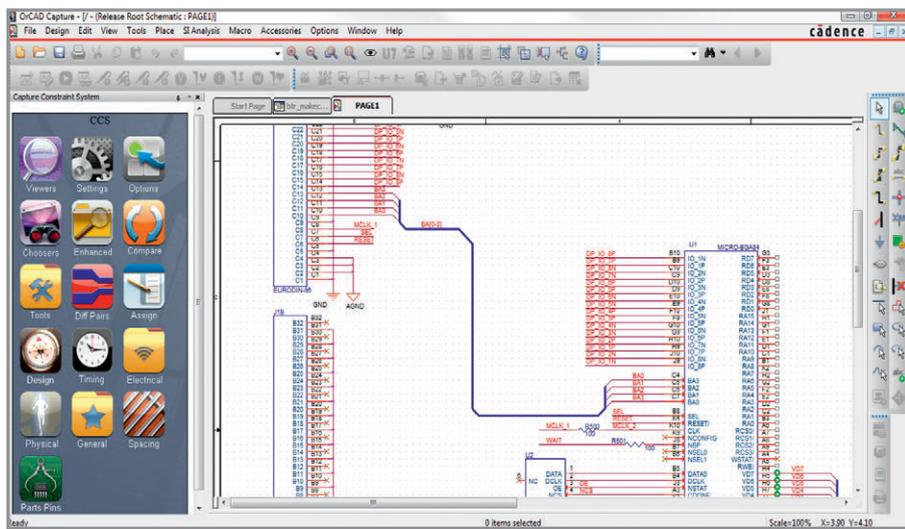


Рис. 4. Новая панель OrCAD Capture Constraint System



Рис. 5. OrCAD Sigrity ERC

стик топологии OrCAD Sigrity ERC – это результат интеграции Cadence и Sigrity. Как известно, после покупки компании Sigrity в 2012 г. Cadence значительно усилила свои позиции на рынке программных средств анализа целостности сигналов и цепей питания. Интеграция средств разработки печатных плат OrCAD/Allegro и технологий моделирования Sigrity значительно ускоряет разработку сложных устройств. OrCAD Sigrity ERC – это комплекс онлайн-проверок конструкции платы с критическими высокоскоростными сигналами. При этом не требуется подключение сигнальных моделей к устройствам на плате (IBIS, Spice, DML). Проверка проходит на завершающем этапе трассировки и позволяет выявлять потенциальные проблемы с качеством сигнала до полноценного и всестороннего анализа в Cadence Allegro Sigrity SI/PI. OrCAD Sigrity ERC покажет, на каком участке проводника есть отклонения от импеданса, где коэффициент взаим-

ного влияния соседних трасс усиливается, где имеются проблемы с возвратными токами и межслойными переходами сигнала и так далее. Это позволит инженеру скорректировать топологию цепей до передачи платы на производство и тестирование (см. рис. 5).

### OrCAD PANEL EDITOR

В прошлом году на рынок вышла новая программа для подготовки документации OrCAD Documentation Editor (DE). Программа в значительной степени автоматизирует процесс создания документации и внесения изменений. Если раньше на это уходило до 20–40% рабочего времени, то благодаря OrCAD DE процесс займёт всего 3–5%. В этом году выходит обновление для OrCAD DE. Помимо этого, весной 2015 г. появилась новая программа OrCAD Panel Editor для подготовки документации на монтажные панели печатных плат. Создание панели, состоящей из нескольких загото-

вок печатной платы, – это стандартная технология в масштабе от мелкосерийного до массового производства. Производитель тем самым снижает затраты и повышает эффективность своей работы. Не все системы ECAD поддерживают функцию панелизации платы. Но данная функция бывает необходимой перед передачей проекта на производство, чтобы учесть все особенности проекта. Помимо собственно мультиплицирования платы, дизайн панели должен учитывать все необходимые конструкционные и технологические элементы, такие как крепёжные отверстия по краям, скрайбирование, перфорационные отверстия («мышинные укусы»), фрезеровку, расстояние до печатного рисунка, выступающие за край платы компоненты. На реализацию всех требований к дизайну панели в существующих САПР требуется немало времени, либо сделать это просто невозможно. OrCAD Panel Editor решает упомянутые задачи. Программа содержит во многом уникальные инструменты для автоматизации создания чертежа панели печатной платы. Создание документации происходит буквально «на лету» путём загрузки базы проекта напрямую из OrCAD/Allegro PCB Editor. Все элементы чертежа интеллектуально связаны между собой, но главное – это их прямая связь с данными PCB Editor. К ним относятся виды панели, детали, технические требования, таблица сверловки, перечень элементов и спецификация и другие важные элементы документации. Результатом работы программы является электронный пакет документации для производства, монтажа и тестирования, в котором есть вся необходимая информация (см. рис. 6).

### OrCAD DFM CHECKER

Проверка проекта на технологичность для производства и монтажа является неотъемлемой частью этапа разработки. На производстве ошибка может стоить очень дорого, и времени на её исправление потребуется много. Чтобы избежать таких потерь, проект должен соответствовать требованиям технологии производства. Новый продукт OrCAD DFM Checker – это встраиваемый модуль в OrCAD PCB Editor, который позволит выявить и устранить потенциальные производственные ошибки. Например:

- гарантийный поясок контактных площадок у выводов компонентов и переходных отверстий;

- потенциальные места с образованием ловушек для припоя и перемычек;
- медные заусенцы и отверстия на выводах;
- изолированные или истощённые теплоотводящие площадки;
- критически малое расстояние между маской и трассой.

Эти и другие проблемы, которые могут быть недоступны для проверки в стандартной системе DRC, легко выявляются при помощи OrCAD DFM Checker. Инженер оптимизирует конструкцию согласно требованиям производства и монтажа. Настройки проверок можно сохранить для разных производств и использовать как шаблоны при проверке новых проектов в OrCAD DFM Checker (см. рис. 7).

Помимо вывода на рынок новых приложений, компания Cadence планирует выпустить обновления программ, которые появились в 2014 г. Уже вышла новая версия OrCAD Library Builder с обновлённым и улучшенным интерфейсом. Программа позволяет создавать библиотеки через прямое чтение и распознавание документов в формате PDF (Datasheets). Сюда же входит функция создания посадочных мест с широким набором готовых калькуляторов в соответствии с требованиями IPC-7351. К посадочному месту генерируется готовая 3D-модель компонента в формате STEP для ускоренного обмена данными с MCAD-системами. Также выходит обновление для OrCAD Engineering Data Management. Это приложение необходимо для совместной работы группы разработчиков в среде OrCAD/Allegro. Являясь полноценной системой управления данными при совместном доступе, оно включает общее хранилище библиотек и проектов, контроль прав доступа, повторное использование проектных решений, историю изменений, блокировку контрольных версий и выпуск новых вариантов проектов с перечнем изменений, ведение истории изменений, отслеживание причин, времени и авторов изменений, времени работы и так далее. В новую версию войдут возможности по управлению файлами PCB Editor, списками цепей, Gerber-файлами и многие другие.

Cadence готовит серьёзное обновление для всей продуктовой линейки OrCAD. Основная цель – удовлетворить потребность разработчиков в современной и производительной САПР электроники на единой программной платформе. В отличие от других

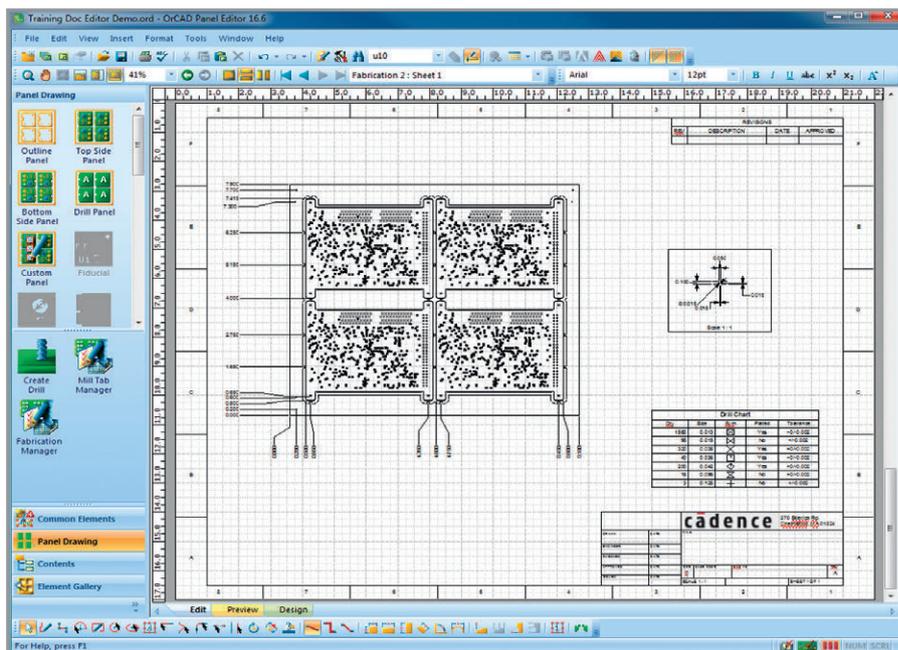


Рис. 6. Чертёж панели в OrCAD Panel Editor

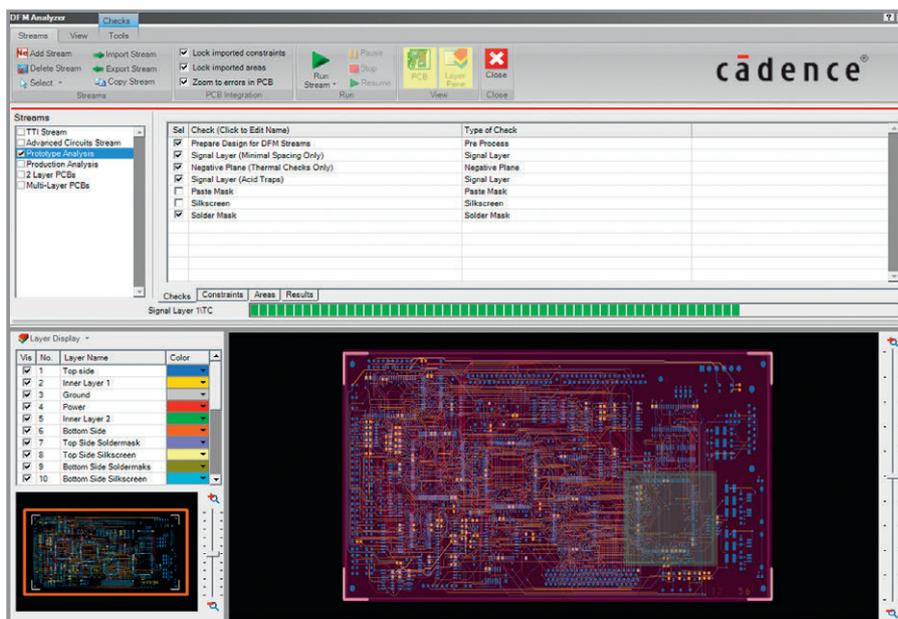


Рис. 7. Окно программы OrCAD DFM Checker

САПР электроники, OrCAD становится более универсальным и легко интегрируется в бизнес-процессы предприятия. Новые и уже выпущенные приложения под брендом OrCAD, благодаря тесной интеграции, составляют единый маршрут разработки библиотек, моделирования электрических схем, создания печатных плат и анализа целостности сигналов. В программный комплекс OrCAD входят средства управления данными, проверки технологичности конструкции, подготовки документации по ГОСТ ЕСКД и вывода точной и проверенной производственной информации. Программа отлично интегрируется со всеми известными MCAD- и ECAD-системами, а также

поддерживает интеграцию практически с любой ERP/PLM/PDM-системой.

### ЛИТЕРАТУРА

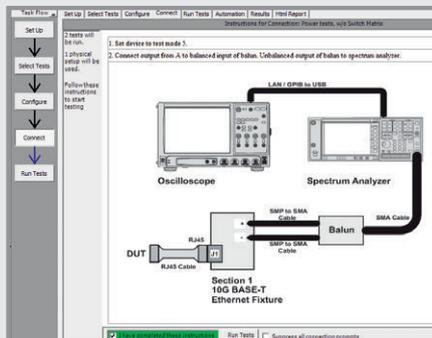
1. *Сергеев А.В.* OrCAD Library Builder: новая программа для создания библиотек компонентов. Современная электроника. 2014. № 7.
2. *Сергеев А.В.* Автоматизированная подготовка документации в OrCAD Documentation Editor. Современная электроника. 2015. № 3.
3. *Сергеев А.В.* Групповая разработка проектов в OrCAD Engineering Data Management. Современная электроника. 2015. № 5.
4. [www.orcad.com](http://www.orcad.com).
5. [www.orcadmarketplace.com](http://www.orcadmarketplace.com).
6. [www.cadence.com](http://www.cadence.com).

Новости мира News of the World Новости мира

**Keysight Technologies: ПО для тестирования на соответствие стандарту MGBASE-T Ethernet**

Компания Keysight Technologies представила первое в отрасли прикладное ПО для тестирования на соответствие стандарту систем, имеющих в своём составе сетевые интерфейсы MGBASE-T. Измерительное ПО Keysight U7236A и U7236B для 10GBASE-T и MGBASE-T помогает инженерам быстрее отлаживать сетевые системы MGBASE-T Ethernet. Это достигается за счёт автоматизации тестирования на физическом уровне на осциллографах Keysight Infiniium серий 9000, S, 90000A, V, 90000X, 90000Q и Z с полосой пропускания до 63 ГГц.

Растущие требования потребителей к пропускной способности беспроводных сетей и увеличение нагрузки на оборудование информационных центров обуславливают рост потребности в повышении ёмкости сети. Технология MGBASE-T Ethernet предлагает повышенную скорость передачи данных, что расширяет возможности таких сетей.



ПО Keysight для тестирования на соответствие стандарту MGBASE-T Ethernet предлагает сценарий автоматического тестирования для быстрой и надёжной проверки сигналов передатчиков MGBASE-T Ethernet на скоростях 2.5G и 5G. Инженеры могут автоматизировать испытания, запуская сценарий на продолжительное время, а при необходимости могут добавлять настраиваемые пошаговые тесты.

Дополнительная информация о прикладном ПО Keysight тестирования на соответствие стандарту MGBASE-T Ethernet приведена на сайте компании

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

**IBS разработала портал поддержки инженеринговой деятельности**

Компания IBS совместно с Союзом машиностроителей России разработала по заказу Минпромторга России портал поддержки инженеринговой деятельности ПорталИнж.рф ([www.engpromdesign.ru](http://www.engpromdesign.ru)). Информационный портал призван способствовать развитию инженеринга и промышленного дизайна в России: инженеринговые команды могут найти через портал оборудование и технологии, а научные центры и вузы – продвинуть новые разработки. Презентация портала состоялась в июне в Новосибирске на Третьем международном форуме технологического развития «Технопром-2015».

По мнению экспертов, в российском машиностроении существует огромный потенциал повышения эффективности процессов, интенсификации применения современных технологий, внедрения научных разработок. Для этого в России разрабатывается, производится и устанавливается современное оборудование, ведутся научные и инженерные разработки и иссле-

**LUMINEO**  
POWERED BY ВЕНЕК

**ДИСПЛЕИ ДЛЯ**  
**от -50°C**

О Ф И Ц И А Л Ь Н Ы Й Д И С Т Р И Б Ъ Ю Т О Р

**PROSOFT®**

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

## Новости мира News of the World Новости мира

дования. Однако оборудование распылено по предприятиям, вузам, научным центрам и институтам и часто не задействовано на полную мощность, а научные исследования не всегда находят своего потребителя.

Чтобы решить эти проблемы и ответить на современные запросы машиностроительных предприятий, Министерство промышленности и торговли РФ приняло решение создать портал, который должен стать центром координации усилий между вузами, государственными научными центрами и инжиниринговыми компаниями в деле развития инноваций для машиностроения.

Для создания портала была приглашена компания IBS, обладающая большим опытом создания информационных и экспертных веб-площадок по заказу федеральных органов власти.

Разработчики впервые представили ПорталИнж.рф в Новосибирске на Третьем международном форуме технологического развития «Технопром-2015», где состоялось Межрегиональное совещание на тему «Информационный портал как механизм развития инжиниринговой деятельности

и промышленного дизайна». Участниками совещания стали представители федеральных органов исполнительной власти, инжиниринговых компаний различных специализаций, научного сообщества Сибирского федерального округа, а также предприятия, являющиеся потенциальными пользователями инжиниринговых услуг.

Портал – универсальная площадка, где участники рынка могут находить себе партнёров для реализации проектов, организовывать совместные предприятия, предлагать свои услуги.

В частности, на портале ведётся каталог высокотехнологичного оборудования, используемого в инжиниринговой деятельности, а также регламентов предоставления доступа к этому оборудованию. В настоящее время каталог содержит более 800 позиций, а к концу года планируется довести его до 3000.

Также вузы, научные организации и компании могут предлагать через портал исследовательские услуги и результаты научной деятельности. Для этого портал содержит специальный каталог.

В перспективе на портале должна заработать автоматизированная система формирования коопераций между вузами и компаниями на основе анализа предложений вузов и требований компаний. Система автоматически будет анализировать запросы и возможности участников проектов на основе объективных показателей и отзывов других участников на портале, предлагать партнёрства, информировать участников о новых возможностях.

В разделе информации представлены материалы об инжиниринге, новости, аналитика рынка, анонсы мероприятий (с возможностью онлайн-регистрации). На портале участники могут получить консультацию по различным вопросам ведения инжиниринговой и инновационной деятельности.

Для удобства пользователей на портале действует система уведомлений и обмена сообщениями, а также система полнотекстового поиска.

ПорталИнж.рф был запущен весной 2015 г. Информационное наполнение портала осуществляется Союзом машиностроителей России.

*Пресс-служба компании IBS*

## ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ

до +85°C



### Основные свойства электролюминесцентных дисплеев

- Кристальная чёткость изображения. Отсутствует размытость изображения движущегося объекта при температуре -60°C
- Широкий угол обзора – свыше 160°
- Время отклика менее 1 мс
- Средний срок безотказной работы более 116 000 часов
- Срок эксплуатации не менее 11 лет при потере яркости 25–30%
- Устойчивость к ударным и вибрационным воздействиям
- Низкий уровень электромагнитного излучения
- Компактные корпус и обрамление

### Области применения

- Специальная техника
- Транспортные средства
- Промышленное оборудование
- Медицинские приборы
- Аппаратура морской техники

**LUMINEQ**  
POWERED BY BENEQ

КОМПАНИИ BENEQ (LUMINEQ)



Реклама

С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru

# РобоСектор-2015: объединяя опыт и технологии

22 апреля 2015 г. в конференц-зале гостиничного комплекса «Измайлово» успешно и продуктивно прошла первая практическая конференция РобоСектор, организованная компанией АВИТОН при поддержке ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Интерес к робототехнике растёт как на государственном, так и на бытовом уровне. Появляется всё больше разнообразных мероприятий, посвящённых робототехнике – от научных форумов до зрелищно-развлекательных событий. Но зачастую они не отвечают на конкретные вопросы разработчиков: какие компоненты использовать для построения современных систем, какие технологии существуют в мире и могут быть использованы для решения конкретных задач, каким образом данные технологии могут быть адаптированы для российских реалий.

С точки зрения технических аспектов построения систем область робототехники обширна: это не только роботизированные устройства в их традиционном представлении (колёсные платформы, антропоморфные роботы и другое), но и подводные и летательные беспилотные аппараты, системы для динамической кино- и видеосъёмки, оптические и следящие системы.

Компания АВИТОН, обладая более чем 15-летним опытом работы на рынке электроники, главной своей целью считает обеспечение российского рынка высокотехнологичными компонентами и передовыми решениями. И теперь настал тот момент, когда компания среди многообразных отрас-

левых робототехнических мероприятий готова предложить действительно необходимое практикам событие.

Первоочередной целью практической конференции РобоСектор является построение профессионального трёхстороннего диалога между разработчиками, решающими ответственные задачи, вузами, целью которых является полноценная подготовка инженерных кадров, и компаниями-производителями компонентов, чьи решения являются «жизненно необходимыми» для робототехнических систем.

Гостей конференции поприветствовали генеральный директор компании АВИТОН А.В. Сапончик и представители зарубежных компаний: Марко Делладжикома (Marco Dellagiocoma, компания *maxon motor*) и Кристоф Поэтц (Christoph Poetz, компания *Harmonic Drive*). Тон рабочего дня конференции задали представитель Фонда «Сколково» О.С. Аврясова, выступив с обзором современных тенденций развития робототехники в России и мире.

Основная программа конференции РобоСектор состояла из трёх секций.

В первой части «Компоненты и решения» специалисты отдела развития компании АВИТОН рассказали о продукции, которая могла бы заинтересовать и удовлетворить производителей робототехнических комплексов различно-

го назначения. Директор по производству «Абрис-Технолоджи» С.В. Фёдоров, посвятил свой доклад производству электронных блоков для эксплуатации в сложных условиях, а инженер из компании «НПФ Мехатроника-Про» представил комплексное решение *MechBIOS* для создания систем управления электродвигателями.

В разделе «Проекты и применения» состоялись презентации успешных российских робототехнических проектов. Руководитель отдела перспективных разработок НПО «Андроидная техника» А.А. Богданов рассказал о биоморфных технологиях в специальной робототехнике. Старший инженер ООО «Мовиком» С.Ю. Плужников представил примеры применения роботизированных съёмочных комплексов в секторе медиа (телевидение и кино). Инженер НУЦ «Робототехника» при МГТУ им. Н.Э. Баумана С.В. Калинин рассказал об использовании продукции *maxon motor* в робототехнических комплексах (РТК). Инженер-конструктор ООО «Подводная робототехника» Р.Ф. Ишмухаметов посвятил своё выступление обзору модельной линейки телеуправляемых подводных роботов ГНОМ, которые производит компания. Руководитель международного проекта «Roboy» Р. Хостетлер (Hostettler R.) сообщил об обновлениях в проекте антропоморфного робота, представленного в марте 2014 г. на открытии учебного центра *maxon motor* при МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В секции «Приводы в обучении» успешным опытом оснащения лабораторий и разработанными программами обучения поделились представители кафедры «Робототехнические системы» (РК-10) МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО «Андроидная техника», Научно-образовательного центра «Робототехника» при ЦНИИ РТК. Сегодня перед техническими вузами в связи с пониманием необходимости качественной и непрерывной подготовки кадров на общемировом уровне в такой прогрессивной отрасли остро стоит вопрос организации и развития учебных лабораторий.

Конференцию РобоСектор посетили представители многих вузов из различных регионов РФ. Их интерес не случаен, поскольку совместно с МГТУ



им. Н.Э. Баумана компания АВИТОН предлагает оснащение учебных лабораторий для подготовки студентов, обучающихся на факультетах и кафедрах робототехники, мехатроники, кибернетики и систем управления.

В качестве гостя на конференции присутствовал заместитель заведующего кафедрой робототехники Московского технологического института робот Алантим. Дружелюбный Алантим ознакомился и фотографировался с участниками.

Программа конференции была спланирована таким образом, чтобы в перерывах между секциями участники могли задать вопросы докладчикам и представителям компаний-производителей, обсудить актуальные темы, ознакомиться с образцами продукции, представленными на мини-выставке. Активный интерес участников вызывали как стандартные, каталожные решения от производителей, так и возможности создания специализированных разработок под конкретные применения.

Среди образцов по приводной теме были продемонстрированы двигатели из серии DCX, линейка компактных двигателей с интегрированной ШВП, компактные бесколлекторные двигатели и плоские двигатели для подвижных суставов роботов от maxon motor (Швейцария), а также установочные комплекты для подвижных суставов роботов, позволяющих оптимизировать конструкцию робота, и актуаторы со встроенными датчиками от Harmonic Drive (Германия). Среди датчиков были показаны бесконтактные энкодеры конструкции «плоское кольцо» от Zettlex (Великобритания), абсолютные и инкрементальные датчики Netzer (Израиль), магнито-резистивные датчики вращения/перемещения и датчики тока от Sensitec (Швейцария). Кроме того, были представлены профессиональные лабораторные источники питания Delta Elektronika (Нидерланды).

Большой интерес вызвали компактные решения для узлов робототехнических систем впервые представленного бренда Micromotion (входит в группу компаний Harmonic Drive). В частности, стоит отметить заинтересованность в решениях для задач высокоточного позиционирования в габаритах  $\varnothing 4-6$  мм с применением безлюфтовой технологии волновых передач. Примерами применения таких решений явля-

ются многоосевые микроманипуляторы, приводы пальцев антропоморфных роботов, приводы настройки оптических систем и прочие задачи микроперемещений.

Внимание участников привлекла новая для России технология аккумуляторных батарей – литий-титанатная аккумуляторная батарея. Она предназначена, в том числе, для обеспечения автономного бесперебойного питания робототехнических комплексов и других систем.

Конференцию РобоСектор в этом году можно считать пилотной. Участники и посетители убедились в необходимости этого мероприятия. Особый интерес к ней проявили профессиональные участники рынка. В ходе обсуждений наметились новые интересные темы и направления для будущих конференций, отчётливо прозвучала мысль, что одним из актуальных направлений формирования потребностей в робототехнических комплексах является решение задач, связанных с обеспечением безопасности, выполнением спасательных работ, устранением последствий стихийных бедствий. Также были затронуты актуальные на сегодняшний день вопросы снижения импортозависимости и локализации производства.

Компания-организатор планирует сделать данное мероприятие ежегодным, расширить программу, тематику, увеличить число участников и проектов, как российских, так и зарубежных, изменить формат мероприятия с учётом пожеланий и предложений участников, чтобы сделать его максимально полезным и интересным.

*Следите за новостями на сайте журнала «Современная электроника» и не пропустите конференцию РобоСектор-2016!*



# Intel в России празднует 50-летие закона Мура

20 мая 2015 года в Центральном Доме художника на Крымском валу корпорация Intel и её партнёры отметили полувековой юбилей закона Мура, подвели итоги 50-летнему пути развития микроэлектроники и обсудили будущее отрасли.



19 апреля 2015 года исполнилось 50 лет закону Мура, эмпирическому правилу, определяющему согласованность развития IT-индустрии и мировой экономики, вдохновляющему инженеров и изобретателей на размышления о границах возможного и новые открытия. Многие инновации, уже ставшие привычными нам сегодня, – носимые технологии, расшифровка генома, «умные» города, большие данные – явились своеобразным следствием этого закона, позволяющего IT-индустрии преодолевать, казалось бы, неразрешимые препятствия и превращать фантастические идеи в успешные бизнес-проекты.

50 лет пройдено. С какими вызовами предстоит столкнуться в течение следующих 50 лет? Эксперты Intel и партнёры корпорации встретились, чтобы обсудить прошлое, настоящее и будущее IT-индустрии.

Конференцию открыл Дмитрий Конаш, региональный директор корпорации Intel в России и странах СНГ. Он подчеркнул, что закон Мура не только стал практическим руководством для развития индустрии вычислительных устройств, но и инициировал глобальные перемены в образе жизни людей и всего человечества.

«Закон Мура в течение 50 лет задаёт темп развитию микроэлектроники, – отметил Дмитрий Конаш, – Он и сегодня остаётся путеводной звездой не только для Intel, но и для других компаний в нашей отрасли. Благодаря действию закона Мура вычислительные устрой-

ства вошли в нашу жизнь, дали людям новые небывалые возможности и произвели настоящую революцию».

В 1971 году выпущен первый в мире микропроцессор Intel 4004. Чтобы оценить путь, пройденный индустрией, которая следовала закону Мура, обратимся к числам. В современных процессорах число транзисторов выросло в 5,6 млн раз (с 2 300 до 1,3 млрд), производительность – в 3 500 раз, а эффективность использования электроэнергии повысилась в 90 000 раз.

Индустриальный взгляд на закон Мура и его влияние на эволюцию микроэлектроники представил в своём докладе Николай Суетин, директор по науке IT-кластера Сколково. Он подчеркнул, что закон Мура – это закон здравого смысла. Почему срок удвоения числа микросхем составляет два года, а не год или три? Потому что иное нецелесообразно. «Реальная жизнь показала, что усложнять полупроводниковые технологии быстрее, чем один раз в 8 кварталов, не только экономически неэффективно, так как не успевают окупиться инвестиции в текущий этап, но и попросту невозможно, поскольку не успевают подготовиться поставщики компонентов, не хватает времени на разработку и изготовление нового оборудования, а также на подготовку кадров, – уточнил Николай Суетин. – Вместе с тем затягивание с переходом на новый этап технологического процесса резко увеличивает шансы конкурентов опередить вас».

Дмитрий Халин, директор по технологиям Microsoft в России, рассказал

о том, как под влиянием закона Мура изменился мир информационных технологий и мир людей. «Уже сегодня мы наблюдаем удивительную эволюцию: процессоры объединяются со сверхчувствительными датчиками; компьютеры приучаются распознавать нас по лицу и голосу, общаться с нами, могут видеть симптомы болезней и распознавать их, предупреждая об опасности. В ближайшем будущем всё вокруг наполнится миллионами чипов, способных выполнять наши команды, – уверен Дмитрий Халин. – В конце концов компьютеры станут невидимыми, вращаются в ткань нашей жизни и нашего мира, будут везде и нигде. Закон Мура стал движущей силой этих невероятных преобразований, объединив в наглядной формуле красоту мира и силу научного познания».

Александр Старыгин, директор департамента подготовки технических решений HP в России, уверил собравшихся в том, что HP разделяет с Intel оценки, видение и перспективы индустрии. По словам Александра, эволюция вычислительных систем в соответствии с законом Мура приводит поразительные примеры масштабов роста производительности при одновременном удешевлении. Так, в 1989 году сервер Compaq SystemPro с двумя одноядерными процессорами Intel 80386 (33 МГц) обслуживал менее 6 банковских транзакций в минуту и при этом стоил \$ 26 000. Сегодня сервер HP Proliant ML350 Gen9, оснащённый двумя 18-ядерными процессорами Intel®





19 апреля 1965 года Гордон Мур, один из будущих отцов-основателей Intel, опубликовал статью в Electronics Magazine, в которой впервые сформулировал простое правило: «Прогресс в микроэлектронике со временем позволит помещать всё больше элементов в тело одной микросхемы». После нескольких уточнений это правило, получившее название «закон Мура», стало читаться так: «количество транзисторов в микросхеме удваивается каждые два года».



**Дмитрий Халин**



**Дмитрий Конаш**



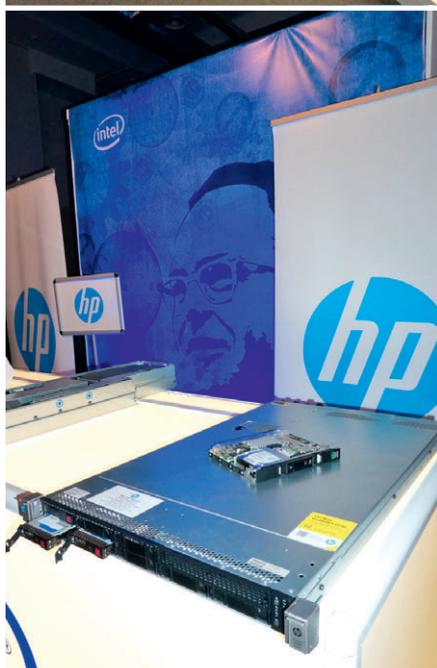
**Николай Суетин**

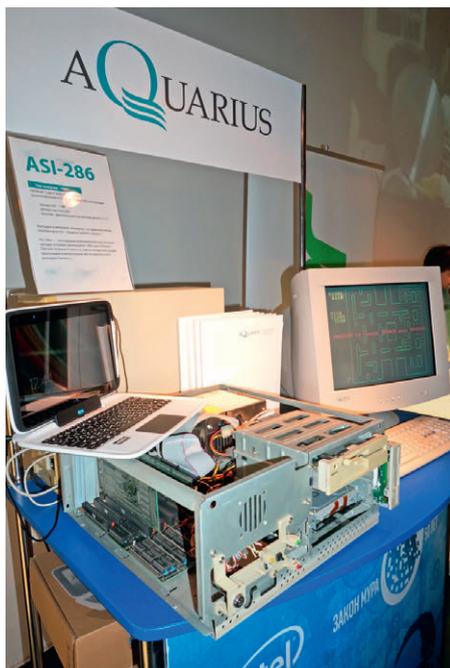


**Александр Старугин**



**Борис Шабанов**





Xeon® E5-2699 v3 (2,3 ГГц) обслуживает 60 млн транзакций в минуту и стоит немногим более \$2000.

«Талант Гордона Мура состоит не только в том, что он установил важнейшую закономерность развития микроэлектроники, но и в том, что сумел инициировать создание сообщества компаний, совместно создающих высокотехнологичные продукты, которые предоставляют новые возможности для развития как мирового бизнеса, так и каждого человека», – подчеркнул Александр Старыгин.

Александр Московский, генеральный директор компании «РСК Технологии» (Группа РСК), рассказал, как прогресс технологий, ускоряемый законом Мура, позволяет повысить производительность и добиваться рекордных показателей плотности монтажа и энергоэффективности вычислительных систем, предназначенных для суперкомпьютеров, центров обработки данных и облачных сред.

Алексей Шмелёв, исполнительный директор Группы компаний РСК, подчеркнул: «Массивно-параллельной архитектуре RSC PetaStream на основе Intel Xeon Phi 7120D и кластерному решению «РСК Торнадо» на базе Intel Xeon E5-2697 v3 принадлежат мировые рекорды по таким ключевым показателям, как вычислительная и энергетическая плотность, производительность на объём, энергоэффективность и компактность. Решения РСК доказали на практике свою эффективность у таких российских заказчиков, как Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Южно-Уральский государственный университет, Росгидромет, Московский физико-технический институт, и у многих других».

В рамках мероприятия была организована специальная выставочная зона, посвящённая новым и историческим решениям на базе микропроцессоров Intel. Свои достижения, отражающие прогресс отрасли под действием закона Мура, представили партнёры Intel: компании Acer, «Аквариус», ASUS, Dell, HP, Lenovo, OLDI, ПРОСОФТ, РСК.

Интересные материалы о законе Мура и решениях Intel читайте на <http://iq.intel.ru>

*Материал предоставлен пресс-службой компании Intel.*

На конференции было представлено семейство процессоров Intel® Xeon® E7-8800/4800 v3. Благодаря улучшенной производительности и надёжности при критически важных компьютерных вычислениях они ускоряют анализ данных в режиме реального времени.

Новые процессоры демонстрируют 20 новых мировых рекордов производительности при работе различных критически важных приложений, обеспечивая на 40% более высокий уровень производительности по сравнению с предыдущим поколением продукции. Кроме того, с семейством Intel® Xeon® E7 v3 становится возможным проводить до 70% больше аналитических сессий в час, а также до 6 раз увеличить уровень производительности бизнес-приложений для рабочих нагрузок, связанных с обработкой транзакций в оперативной памяти. Intel® Xeon® E7 v3 обеспечивают до 10 раз более высокую производительность в пересчёте на 1 доллар США и пониженную совокупную стоимость владения по сравнению с альтернативными RISC-архитектурами за счёт уменьшения стоимости приобретения аппаратного обеспечения, расходов на энергоснабжение и охлаждение. Процессоры поддерживают конфигурации с 32 процессорными разъёмами (макс.) и самый большой объём памяти на 1 процессорный разъём (системы с 8 процессорными разъёмами могут поддерживать до 12 Тбайт памяти DDR3 или DDR4). Новинки могут включать в себя до 18 ядер, а также до 45 Мбайт кэш-памяти. В Intel® Xeon® E7 v3 реализованы новые функции обеспечения безопасности и надёжности, включая увеличенную производительность шифрования с помощью новейшего набора инструкций Intel® Advanced Encryption Standard New Instructions (Intel® AES-NI). В новом семействе улучшена ранее используемая технология Intel® Run Sure, включающая уникальный набор функций обеспечения надёжности, готовности и удобства эксплуатации. Это было сделано с помощью 2 новых функций для обеспечения доступности критически важных приложений на уровне 99,999%.

0+

ufi  
Approved  
Event

# ЭНЕРГИЯ ВАШЕГО РАЗВИТИЯ

Реклама

**12-я Международная выставка  
компонентов и систем  
силовой электроники**

## **СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

**POWER  
ELECTRONICS**

**27–29 октября 2015**

МЕСТО  
ПРОВЕДЕНИЯ | **МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО**

Организаторы:



Тел.: +7 (812) 380 6003/ 07  
E-mail: [power@primexpo.ru](mailto:power@primexpo.ru)

Забронируйте стенд  
**[www.powerelectronics.ru](http://www.powerelectronics.ru)**

# Точные измерения – основа качества и безопасности 2015

С 19 по 21 мая 2015 года в Москве на ВДНХ успешно завершил работу 11-й Московский международный инновационный форум «Точные измерения – основа качества и безопасности 2015», приуроченный ко Всемирному дню метрологии и 90-летию Государственной стандартизации.

«Точные измерения – основа качества и безопасности» – крупнейший авторитетный общероссийский форум в области приборостроения, на котором представители научно-технического сообщества, власти и бизнеса знакомятся с последними достижениями мирового приборостроения, обсуждают актуальные проблемы, стоящие перед российской промышленностью для обеспечения глобальной конкурентоспособности и полномасштабной интеграции в современный мировой рынок товаров и услуг за счёт внедрения инновационных измерительных технологий.

В работе Форума и выставки приняли участие 306 компаний из России, США, Великобритании, Германии, Ита-

лии, Франции, Австрии, Чехии, Японии, Китая и Белоруссии. Коллективными экспозициями выставлялись ГК «Росатом», ГК «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», МВД России, Ростехнадзор, региональные ЦСМ и метрологические институты.

Общая выставочная площадь составила 6500 м<sup>2</sup>. Выставку посетили 5150 специалистов. Количество участников симпозиума – 1350. Посетителям выставки были представлены 2800 приборов.

Организаторами данного мероприятия выступили: Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Рос-

стандарт). Поддержку Форуму оказали Правительство Российской Федерации и международные организации (BIPM, OIML, CoOMET). Выставка проводилась под патронатом Торгово-промышленной палаты Российской Федерации и при участии: Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России), Министерства внутренних дел Российской Федерации (МВД России), Федерального космического агентства (Роскосмос), Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», Государственной корпорации «Ростехнологии», ОАО «РОСНАНО», ОАО «РЖД», Фонда «Сколково» и Союза машиностроителей России.

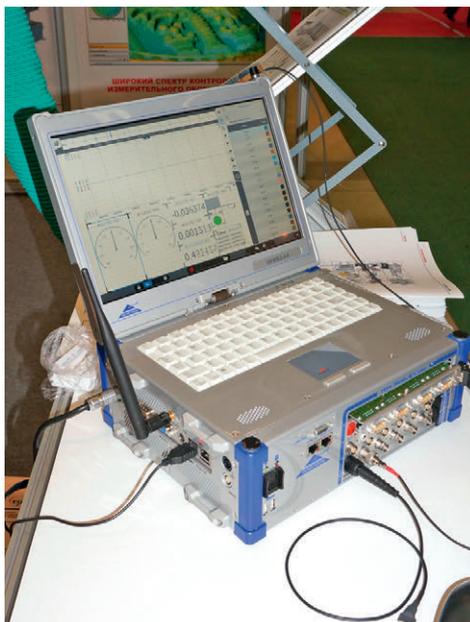
Устроителем Форума стала компания «Вэстстрой Экспо». Стратегический партнёр – ФБУ «Ростест-Москва». Генеральный партнёр – Keysight Technologies. Генеральный медиапартнёр – РИА «Стандарты и качество». Генеральный страховщик – страховая компания Allianz.



Под общей эгидой Форума собрались:

- «MetroExpo» – выставка средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения;
  - «Control&Diagnostic» – выставка средств неразрушающего контроля, технической диагностики и КИПиА;
  - «ResMetering» – выставка коммерческого и технологического учёта энергоресурсов;
  - «LabEquipment» – выставка измерительного и испытательного лабораторного оборудования;
  - «AutomaticSystem» – выставка автоматизированных систем управления технологическими процессами.
- Выставочные разделы были сведены в единую профессиональную деловую программу Московского международного симпозиума «Точность. Качество. Безопасность», в рамках которого состоялось Всероссийское совещание метрологов.

На торжественной церемонии открытия форума 19 мая с приветственными обращениями и пожеланиями к участникам и гостям выступили: директор Департамента государственной политики в области технического регулирования и обеспечения единства измерений Минпромторга России К.В. Леонидов, заместитель руководителя Росстандарта С.С. Голубев, старший вице-президент по инновационному развитию – главный инженер ОАО «РЖД» В.А. Гапанович, первый заместитель руководителя комитета РСПП по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия А.Н. Лоцманов, президент организа-





ции сотрудничества государственных метрологических учреждений стран Центральной и Восточной Европы КООМЕТ В.Н. Крутиков, заместитель директора Департамента государственной политики в области технического регулирования и обеспечения единства измерений Минпромторга России Д.А. Кузнецов, начальник Управления

метрологии Росстандарта Р.А. Родин, первый заместитель директора ФГУП «ВНИИМС» Ф.В. Булыгин, руководитель дирекции форума И.Г. Зимин.

В рамках форума 19, 20 и 21 мая состоялся Московский международный симпозиум «Точность. Качество. Безопасность» под девизом «Измерения и свет (согласно ежегодному

посланию директоров ВІРМ и OIML)». Программа симпозиума оптимально сформирована для содействия конструктивному диалогу между производителями и потребителями приборостроительной продукции и успешной демонстрации достижений инновационной инженерии. Модераторами секционных заседаний и круглых столов являются руководители федеральных министерств, ведомств и учреждений, а также заслуженные российские учёные, внёсшие значительный вклад в решение обсуждаемых проблем.

21 мая выставку посетил руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии А.В. Абрамов с начальником управления административной работы и внешних связей Росстандарта Б.М. Потёмкиным.

Руководитель Росстандарта отметил наиболее интересные экспозиции российских разработчиков и производителей средств измерений и метрологического обеспечения, выставочные стенды национальных метрологических институтов и региональных ЦСМ, а также высоко оценил уровень организации и проведения Форума.

По завершению работы Форума состоялась торжественная церемония награждения лауреатов Всероссийской выставочно-конкурсной программы «За единство измерений» за 2015 год, которая проходит на базе конкурсной комиссии ФБУ «Ростест-Москва».

Основная цель конкурса – аттестация приборов и оборудования, относящихся к различным средствам измерений, диагностики, испытаний и аналитики, на соответствие их высоким метрологическим характеристикам и качеству.

Конкурсная комиссия на основании заключений экспертного центра постановила присуждать Знак Качества по одной из пяти номинаций 26 средствам измерений, Золотую медаль выставки – 43 номинаций, Платиновую медаль выставки – 7 номинаций.

Памятные дипломы были вручены 37 региональным ЦСМ и 8 национальным метрологическим институтам, принявшим непосредственное участие в выставочной экспозиции Форума.

Трёхдневную работу Форума освещали представители 3 телекомпаний (ВГТРК, ТВ-Центр и РЖД-ТВ) и более 35 специализированных средств массовой информации.

[www.metrol.expoprom.ru](http://www.metrol.expoprom.ru)



Выставка  
**ЭЛЕКТРОНИКА**  
Урал

Идеальный контакт  
**«ЭЛЕКТРОНИКА—Урал 2015»**

Международная  
специализированная  
выставка

**17-19 ноября**  
Екатеринбург, ЦМТЕ

Проходит одновременно  
с выставкой «Передовые  
Технологии Автоматизации.  
ПТА Урал 2015»

#### Тематика выставки

- Электронные компоненты и комплектующие
- Источники питания
- Программное обеспечение и услуги
- Оборудование и технологии для производства электроники

#### В деловой программе

- Электронные компоненты и технологии
- Промышленная электроника

Реклама

[www.pta-expo.ru/ural/electronics](http://www.pta-expo.ru/ural/electronics)

Организатор:  
**ЭкспоПромТек**

Екатеринбург Тел. +7 (343) 376 24 76 • info@pta-expo.ru  
Москва Тел. +7 (495) 234 22 10 • info@pta-expo.ru

# «Комплексная безопасность–2015»

22 мая 2015 г. завершил работу Международный салон «Комплексная безопасность–2015». Работа по интеграции технологий и инноваций в безопасность страны продолжается.

В конце мая на ВДНХ прошёл VIII Международный салон средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность–2015». Форум представил насыщенные экспозиционную, деловую, конкурсную и демонстрационную программы.

Салон проводился в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 15 июля 2013 г. № 1221-р и представил результаты выполнения ряда решений Правительства РФ по стимулированию развития и внедрения передовых технологий в сфере безопасности, формирования новых подходов к решению проблем внедрения интегрированных систем безопасности государства и личности.

В церемонии открытия приняли участие: заместитель председателя Правительства РФ Дмитрий Rogozin, министр РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Владимир Пучков, заместитель министра внутренних дел РФ Александр Махонев, министр по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь Владимир Ващенко, министр территориального управления и по чрезвычайным ситуациям Республики Армения Армен Ерицян, заместитель председателя Совета Федерации Федераль-

ного Собрания Юрий Воробьёв, первый заместитель председателя комитета Совета Федерации Федерального Собрания РФ по обороне и безопасности Евгений Серебренников, заместитель министра Китайской Народной Республики Цай Цихуа, губернатор Севастополя Сергей Меняйло.

В приветственном слове Дмитрий Rogozin от лица Правительства РФ подчеркнул особый интерес к технологиям в сфере безопасности из-за повышенного риска техногенных катастроф в настоящее время. В этой связи он особо отметил значение внедрения программы «Безопасный город», а также решения одной из наиболее важных задач по предупреждению чрезвычайных ситуаций – «обеспечение безопасности нашего народа, наших граждан».

С приветственным словом к гостям выставки обратилась заместитель министра Китайской Народной Республики госпожа Цай Цихуа. Она подчеркнула неразрывную связь и традиционную поддержку со стороны России по вопросам безопасности и ликвидации последствий катастроф, подтвердив нацеленность Китая и России на продолжение стратегического взаимодействия по данному вопросу.

Церемонию открытия продолжил робот-андرويد, который нажатием

красной кнопки просигнализировал об открытии Международного салона «Комплексная безопасность–2015».

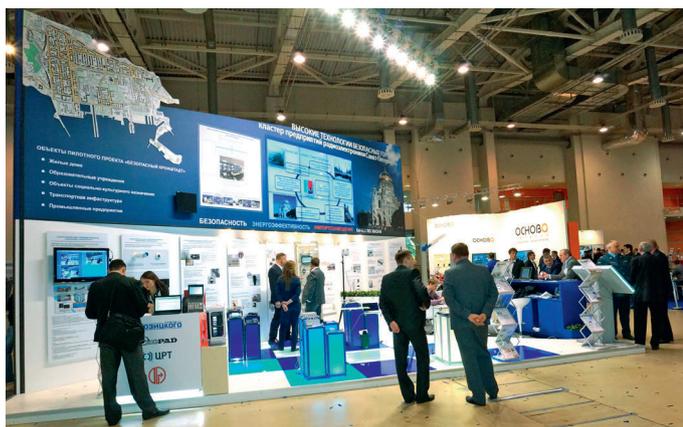
Продукция и перспективные разработки были представлены 378 фирмами и компаниями из 7 стран мира в 11 тематических разделах Салона: пожарная безопасность, средства спасения, техника охраны, транспортная безопасность, защита и оборона, промышленная безопасность, безопасность границы, ядерная и радиационная безопасность, информационные технологии, экологическая безопасность, медицина катастроф.

Отбор и оценка отечественных и зарубежных разработок проводились с возможностью практического ознакомления с техническими характеристиками образцов, непосредственного обсуждения сфер внедрения и тактики применения.

Диалог между разработчиками и специалистами был продолжен в рамках деловой программы: 35 международных и всероссийских конгрессно-выставочных мероприятий, где присутствовало 2400 делегатов и выступил с актуальными докладами по безопасности 321 докладчик.

Ключевым мероприятием Салона стало проведение XX Международной научно-практической конференции, посвящённой проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций по теме «Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий».





Большое количество инновационных разработок и насыщенная деловая программа стали причиной рекордной посещаемости: 19 мая на выставке побывали 4076 специалистов.

Всего за четыре дня работы выставки её посетили 14 494 специалиста, в том числе 2106 VIP-приглашённых, представители власти, бизнеса, директора крупнейших государственных и коммерческих структур.

Для освещения хода Международного салона «Комплексная безопасность–2015» было аккредитовано 330 журналистов. В их числе информационные агентства ТАСС и «Россия сегодня», телерадиокомпании «РОССИЯ-1» и «РОССИЯ-24», «МИР», Гостелерадио Ирана, «Russia Today», ТВ-Центр, «Москва 24», РЕН-ТВ, ТРК ВС РФ «ЗВЕЗДА», «Петербург – 5 канал», а также «Оружие России» и «Росинформбюро».

[www.isse-russia.ru](http://www.isse-russia.ru)



# Форум SEMICON Russia: вся российская микроэлектроника крупным планом

## SEMICON<sup>®</sup> Russia2015

С 16 по 18 июня 2015 года в Москве проходил ведущий в России Форум по микро- и нанoeлектронике SEMICON Russia, в котором приняли участие первые лица российской электронной отрасли, крупнейшие производители и поставщики оборудования, технологий и услуг для полупроводниковой промышленности со всего мира, российские и зарубежные аналитики.

В 2015 году организаторы сделали акцент на обновлённой программе сопутствующих мероприятий, в рамках которой состоялся российско-тайваньский Форум, премьера StartupZONE при поддержке ФИОП РОСНАНО и новые сессии в зоне технологических семинаров – SEMI TechARENA.

В этом году более 1200 специалистов собрались на Форуме, тем самым подтвердив высокий интерес к российскому рынку и наличие возможностей для развития международного сотрудничества в данной отрасли.

### Регионы как «маяки» отечественной микроэлектроники

Первой в череде мероприятий Форума стала Конференция по рынку микроэлектроники, которая привлекала более 140 делегатов, включая представителей органов власти, руководителей, инженеров и специалистов ведущих российских и зарубежных предприятий, рабо-

тающих в отрасли микроэлектроники. Конференция вынесла на первый план роль российских регионов в стратегии развития российской микроэлектроники, продемонстрировала свежие идеи и текущие результаты работы кластеров и реализации инфраструктурных проектов.

Программа Конференции состояла из трёх сессий, переходящих в панельные дискуссии. В числе спикеров мероприятия:

- Джером Аземар, ведущий аналитик Yole Developpement;
- Владимир Леонтьев, директор по развитию технологий Казённого предприятия города Москвы «Корпорация развития Зеленограда»;
- Семён Вуйменков, начальник отдела инновационных проектов Департамента социального развития и инноваций Минэкономразвития России;
- Дмитрий Криницкий, руководитель Департамента по региональной поли-

тике и взаимодействию с органами власти УК «РОСНАНО».

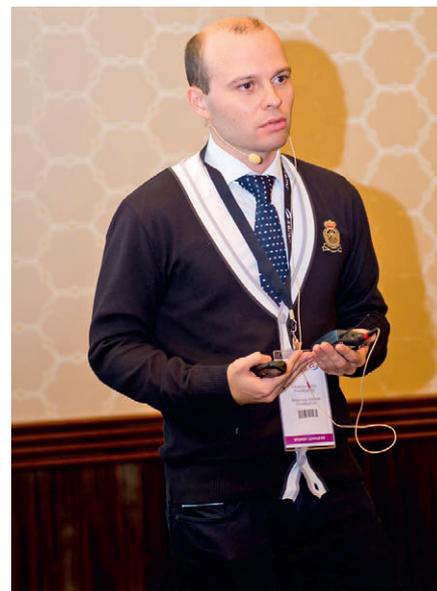
Алексей Волостнов, директор по развитию бизнеса в России компании Frost & Sullivan, представил актуальный обзор отечественного и глобального рынка полупроводников и смежных отраслей: «Несмотря на все негативные тенденции прошлого года и серьёзную экономическую турбулентность, рынок микроэлектроники пока что во многом поддержан госзаказом, участием государства и крупных российских компаний, что внушает оптимизм. В то же время, учитывая масштаб страны, с количеством населения 145 млн человек, очевидно, что исключительно внутренних ресурсов недостаточно для того, чтобы обеспечить крупное производство и достичь серьёзной конкурентоспособности». «Российские компании остаются открытыми для партнёрства как внутри, так и за пределами страны», – констатировал Волостнов. Он подчеркнул, что программа импортозамещения требует тщательной подготовки, на сегодняшний момент зачастую на рынке наблюдается замещение европейских и американских производителей китайскими компаниями, что в действительности не может называться импортозамещением. Согласно перечню Frost & Sullivan в список наиболее привлекательных центров радиоэлек-



Анатолий Ковалёв



Вадим Гаршин



Алексей Волостнов



тронной промышленности в категории «силовая электроника» вошли Саратов, Воронеж, Томск, Свердловск, Зеленоград, Троицк.

Согласно высказываниям Семёна Вуйменкова, заместителя директора Департамента инновационного развития Минэкономразвития России, основная часть средств, выделяемых государством, сейчас идёт на развитие инновационно-образовательной инфраструктуры: создание инженеринговых центров, формирование условий для непрерывного образования инженерных кадров. На сегодняшний момент создано 26 инновационно-территориальных кластеров (ИТК) по различным направлениям промышленности, которые представлены во всех макрорегионах России, за исключением Южного. Данные кластеры специализируются на различных секторах промышленности, таких как ядерные технологии, радиационные технологии, биомедицина, микроэлектроника, телекоммуникации, аэрокосмическая отрасль, судостроение и нефтехимия. Программа поддержки ИТК реализуется на федеральном уровне с 2013 года: в 2013 году было выделено 1,3 млрд рублей, в 2014 году – 2,5 млрд рублей. Вуйменков также обозначил приоритеты кластерной полити-

ки на ближайшие годы, включая увеличение потока стартапов с последующей интеграцией их в высокотехнологическую инфраструктуру и реализацию проекта «5-100».

«Несмотря на сокращение расходов по некоторым направлениям, тем не менее, в плане устойчивого социально-экономического развития РФ на 2015 год Фонду содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере был произведён дополнительный транш в размере 5 млрд рублей на поддержку программ Фонда малых средних предприятий с различными размерами грантов», – заявил Вуйменков.

По словам Дмитрия Криницкого, руководителя Департамента по региональной политике и взаимодействию с органами власти ОАО «РОСНАНО», российские регионы показывают положительную динамику, в различных субъектах РФ уже запущено 59 производств, на текущий момент создано 12 наноцентров. «В регионы нужно идти, в регионах нужно создавать высокотехнологичные производства, страна к этому готова. Люди есть, возможности есть, существуют механизмы финансовой поддержки», – подчеркнул Криницкий.

По отзывам делегатов, сессии Конференции и последующие за ними дискуссии продемонстрировали полный срез подходов к развитию отечественной микроэлектроники и позволили каждому участнику получить общее видение перспектив ведения бизнеса в России.

### ИТОГИ ВЫСТАВКИ SEMICON Russia 2015

17–18 июня в ЦВК «Экспоцентр» состоялась выставка SEMICON Russia, на которой более 100 экспонентов продемонстрировали свои передовые технологии, оборудование и пилотные проекты в сфере микроэлектроники и смежных направлений: технологии корпусирования, АЗВ5 электроника, фотовольтаика, гибкая электроника. В выставке приняли участие компании мировой электронной отрасли из 15 стран мира, включая Россию, Германию, Китай, Японию, Беларусь, Чехию, Францию, Великобританию, Нидерланды, Сингапур, Голландию, Швецию, Италию. Среди них такие компании, как SVCS s.r.o., Maicom Quartz GmbH, компания «Диполь», Группа компаний Остек, ЭлТех СПб, FATH, IMEC, M+W Group, STMicroelectronics, ЗАО «НПП «ЭСТО», Инновационный территориальный кластер Зеленограда – Техноюнити.



Выставку посетили руководители отечественных и зарубежных компаний-заказчиков технологий электронной промышленности, разработчики, инженеры и исследователи, студенты профильных вузов, представители законодательной и исполнительной власти, специализированная пресса.

### Российско-тайваньский Форум и китайская делегация

Помимо традиционных участников SEMICON Russia в 2015 году наблюдался всплеск интереса со стороны азиатских компаний. Российско-Тайваньский Форум был организован совместными усилиями Института исследований технологий производства Тайваня (Российское представительство, ITRI), Центра развития НИОКР в металлур-

гической отрасли (MIRDC), Представительств Глобальной промышленной ассоциации SEMI в Тайване и России.

Более 15 делегатов, включая представителей SEMI Тайвань, посетили Москву, Санкт-Петербург, кластеры в Зеленограде и Троицке для проведения встреч с потенциальными заказчиками и партнёрами. В результате проведения Форума был подписан меморандум о сотрудничестве между SEMI Russia и Центром развития НИОКР в металлургической отрасли (MIRDC) с целью усилить взаимодействие и расширить бизнес-возможности для членов обеих организаций в Тайване и России.

19 июня в Троицке прошёл российско-тайваньский семинар по лазерным технологиям, на котором крупным тайваньским компаниям были представлены стартапы нанопарка «Технопарк».

Живая дискуссия между участниками возникла при обсуждении таких проектов нанопарка, как «Поларус», «Лазерная нанохирургия» и «СВД.Спарк». Стороны оказались взаимно заинтересованы в технологическом сотрудничестве и расширении областей применения лазерных технологий.

Китайская делегация, состоящая из 12 компаний-участниц, также была представлена на SEMICON Russia. Накануне выставки делегатам предложили посетить предприятия главного российского кластера по микроэлектронике в Зеленограде. В ходе своего визита представители китайской делегации познакомились с производственными мощностями крупных российских компаний в области микроэлектроники, таких как группа компаний Микрон, АО «Ангстрем-Т», группа ком-

паний «ЭСТО», Зеленоградский нанотехнологический центр.

## STARTUPZONE

В 2015 году впервые 28 стартап-проектов и молодых предприятий объединились на новой платформе – StartupZONE, продемонстрировав свои компетенции в биотехнологиях, интеллектуальных системах и электронике. Доступ к венчурному капиталу остаётся главной проблемой на пути реализации стартапов, особенно в секторе микроэлектроники, который сопряжён с большим риском и требует капиталовложений и последующего возмещения инвестиций.

StartupZONE стала площадкой для привлечения инвестиций в перспективные проекты. Генеральным партнёром зоны стартап-проектов выступил Фонд инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО (ФИОП), развивающий сеть нанотехнологических центров для реализации полного цикла услуг по созданию и развитию стартапов. Более 15 инвесторов и экспертов индустрии приняли участие в работе StartupZONE, включая известные российские высокотехнологичные фонды «Сколково», РВК и венчурный фонд GS Venture.

На питч-сессиях в StartupZONE были представлены такие компании и проекты, как TEN Electronics (инжиниринговый центр в области гибкой электроники), ЭУФ Лабс/EUV Labs (источник экстремального ультрафиолетового излучения), Spinext (когнитивные телекоммуникации для b2b-применений и мобильных гаджетов), Максиген (экспресс-диагностика инфекционных заболеваний на основе ДНК-анализа), Lex Quantum (революционный метод безоперационного низкотоксичного лечения рака), LiveNet (источники бесперебойного питания для удалённых объектов и территорий), KOT (программно-аппаратный комплекс для удалённой диагностики автомобилей и технологии Connected car), WirenBoard (универсальный контроллер для домашней и промышленной автоматизации и мониторинга), Платформа Comberry (ускорение разработки тонкоплёночных решений в полупроводниковой промышленности), 3D PICASO (компактный 3D-принтер для школ, вузов, архитектурных бюро и творческих мастерских), Ronavi (интеллектуальный комплекс для автоматизации эффективной

транспортировки стеллажей и контейнеров на складах и логистических базах) и другие.

Участие в питч-сессии позволило предпринимателям привлечь к своим проектам интерес стратегических инвесторов, бизнес-ангелов, а также участников рынка, связанных с развитием инноваций в электронике. В частности, технология и продукция компании LiveNet была отмечена специалистами как востребованная для создания зон Wi-Fi и видеонаблюдения.

## SEMI TechARENA

В рамках программы деловых и технологических семинаров на SEMI TechARENA прошли две дебютные сессии, посвящённые интеллектуальным системам и полупроводниковой оптоэлектронике.

Сессия по полупроводниковой оптоэлектронике была организована под эгидой Международного года света (IYL2015) и световых технологий. Исполнительный директор НЦ «Техноспарк» Мария Титова выступила на сессии по полупроводниковой оптоэлектронике с докладом по интегральной фотонике: «Сейчас в Европе происходит процесс, который раньше происходил в кремниевой микроэлектронике: Отраслевой европейский консорциум в области фотоники (EPIC) создаёт технологический стандарт в сфере дизайна и проектирования фотонных интегральных схем (PIC Packaging Design Rules) в тесной коммуникации с индустрией, формулируя и создавая в ходе дискуссии новые правила монтажа элементов, использования оборудования и материалов, давая игрокам возможность высказывать своё мнение, делиться опытом и вносить дополнения. И мы очень хотим, чтобы Россия также участвовала в этом процессе – наноцентр «Техноспарк», находясь в тесной коммуникации с EPIC, собирает замечания и предложения российских компаний по доработке этого стандарта».

Также в течение двух дней работы выставки SEMICON Russia на открытой площадке TechLOUNGE в неформальной атмосфере экспоненты в режиме реального времени проводили презентации своих продуктов.

*Материал предоставлен  
пресс-службой SEMI Russia & CIS.  
<http://www.semiconrussia.org/ru/>*



# Новости мира News of the World Новости мира

## Компания Advanced Dicing Technologies вошла в десятку лучших

Как сообщает Группа компаний Остек, компания Advanced Dicing Technologies, ведущий производитель оборудования для дисковой резки пластин, завоевала второе место в рейтинге поставщиков оборудования в категории «Оборудование для сборки» по версии агентства VLSI Research.

Агентство VLSI Research публикует ежегодные рейтинги поставщиков высокотехнологического оборудования с 1988 г. В течение 2,5 месяцев проводился опрос представителей мировой микроэлектронной промышленности. Участникам опроса было предложено оценить поставщиков оборудования в 15 категориях по таким параметрам, как общая оценка поставщика, качество клиентской поддержки и качество оборудования. В оценке участвовали 3842 поставщика и 57 207 респондентов.

По результатам опроса компания ADT получила 8,89 балла из 10, став лидером

среди производителей оборудования для дисковой резки.

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)

## Разработчиков «умных» контактных линз отделили от Google

Подразделение Life Sciences, ранее бывшее частью исследовательской лаборатории X компании Google, станет отдельной компанией под эгидой Alphabet. Об этом сообщил в социальной сети Google+ сооснователь Google и президент Alphabet Сергей Брин. Исполнительным директором нового предприятия назначен Энди Конрад, возглавлявший это подразделение. Ранее Конрад был руководителем по научной работе компании LabCorp, занимавшейся молекулярной диагностикой. Он также является сооснователем института национальной генетики (National Genetics Institute), входящего в состав LabCorp.

Несмотря на изменения в статусе, задачи Life Sciences останутся прежними. Дочер-

нее предприятие будет наряду с другими медико-биологическими компаниями разрабатывать новые технологии, начиная с ранней стадии научно-исследовательских работ и до проведения клинических испытаний и, как ожидается, в корне изменит методу выявления, предотвращения и лечения заболеваний.

Будучи в составе Google X, подразделение занималось разработкой «умных» контактных линз для мониторинга уровня сахара в крови при диабете. В дополнение к этому его работа включала реализацию проекта анализа генов для создания картины здоровья человека на молекулярном уровне, а также разработку системы диагностики, построенной вокруг нанотехнологий. Вполне возможно, что теперь круг задач Life Sciences заметно расширится. Хотя в данном случае всё зависит от финансирования.

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

со ссылкой на

[www.plus.google.com](http://www.plus.google.com)

# SHARP

## LCD-ПАНЕЛИ SHARP ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ



Размер диагонали, дюйм	10,4	12,1	15...23	2,5...8,5	
Разрешение	VGA, SVGA	SVGA, WXGA	XGA, SXGA, USGA	Q-VGA, SVGA, WVGA	
Яркость, кд/м <sup>2</sup>	420...450	400...1200	350...1000	280...500	
Контрастность : 1	600...800	800...1000	600...1000	300...800	
Входной видеосигнал	Digital RGB, LVDS	Digital RGB, LVDS	LVDS	Digital RGB, LVDS	
Задняя подсветка	LED	LED	LED	LED	
Предельная рабочая температура, °C	МИН.	-30	-15	-20	-30
	МАКС.	+80	+75	+70	+70

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ SHARP

**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

# interlight

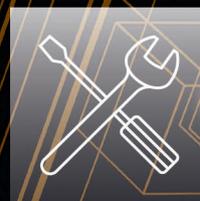
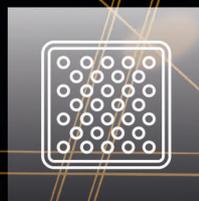
MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного  
и технического освещения, электротехники  
и автоматизации зданий

10 – 13 ноября 2015

ЦВК «Экспоцентр», Москва



messe frankfurt



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)

Реклама

# Новости мира News of the World Новости мира

## Новые анализаторы сигналов SPN9003A и SPN9026A от Keysight и Спектрана

Keysight Technologies и ООО «Спектран» представляют новую серию анализаторов сигналов, выпуск которой был начат в 2015 г. на производственных мощностях ООО «Спектран» по технологии Keysight Technologies. Презентация новых анализаторов российского производства состоялась в рамках выставки «МАКС-2015».

Серийное производство современной радиоизмерительной аппаратуры на базе технологий Keysight Technologies было запущено в рамках партнёрского соглашения, достигнутого в 2014 г. между Keysight Technologies и ООО «Спектран».

Анализаторы сигналов серий SPN9003A/SPN9026A до 26,5 ГГц – первые приборы по технологии Keysight, производство которых начато на территории России.

Ключевые особенности анализаторов SPN9003A/SPN9026A:

- возможности сканирующего анализатора спектра, обеспечивающего максимально широкий динамический диапазон для



анализа внеполосных помех, и векторного анализатора сигналов, позволяющего исследовать внутриканальные искажения;

- точное и быстрое измерение частоты, амплитуды, искажений, помех и фазового шума, а также анализ модуляции сигналов беспроводной связи;

- поддержка более 25 измерительных приложений, в том числе для тестирования сигналов сотовой, беспроводной связи, цифрового видео;

- одноклавишное измерение мощности.

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

## Apple потеряла \$158 млрд стоимости

Потрясения на американской фондовой бирже привели к снижению стоимости Apple более чем на \$150 млрд. Таким образом,

прогноз по увеличению рыночной капитализации компании до \$1 трлн становится всё менее реалистичным.

На момент закрытия биржи NASDAQ 21 августа, акции Apple остановились на отметке \$105,76, что на 6,12% меньше, чем днём ранее. С начала недели ценные бумаги подешевели на 8,5%.

В этом году котировки корпорации достигли \$134,5, а сейчас они упали примерно на 20% по сравнению с этим значением. На этом фоне трейдеры могут перейти от игры на повышение к игре на понижение, «бычий» рынок сменится «медвежьим», передаёт USA Today.

Рыночная капитализация Apple снизилась на \$158 млрд по сравнению с началом года – до \$603 млрд. Стоимость акций за этот период уменьшилась на 3,2%.

В марте 2015 г. несколько аналитиков Уолл-стрит повысили целевую стоимость акций Apple до \$180. Если калифорнийский гигант сможет добиться этой отметки, его рыночная капитализация достигнет \$1 трлн.

[www.3dnews.ru](http://www.3dnews.ru) со ссылкой на [www.usatoday.com](http://www.usatoday.com)

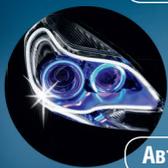
# MENTOR

INNOVATIONS FOR THE FUTURE

Светопроводник к Вашему успеху



Автоматизация



Автомобилестроение



Медицина

## Световоды для SMD и THT светодиодов

### Особенности:

- Световоды с защитой IP68
- Диапазон температур: -40...+85°C
- Возможно изготовление заказных изделий

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ MENTOR

**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

ТЕЛ.: (495) 232-2522 / ФАКС: (495) 234-0640 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама



# Testing & Control

**27–29.10.2015**

МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО



[www.testing-control.ru](http://www.testing-control.ru)

12-я Международная выставка испытательного  
и контрольно-измерительного оборудования

## Testing & Control

Организатор:

 Группа компаний ITE  
+7 (495) 935 7350  
[control@ite-expo.ru](mailto:control@ite-expo.ru)

Реклама

© СТА-ПРЕСС

# Чем заменить P-CAD?

Влад Хоменко (г. Днепрпетровск, Украина)

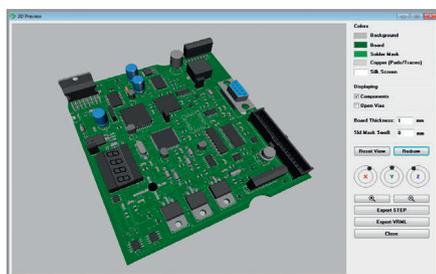
Для многих инженеров на просторах СНГ P-CAD до сих пор незаменим при разработке электронных печатных плат, хотя со времени последнего релиза прошло уже почти девять лет. Это серьёзный срок, поэтому даже самые преданные фанаты теперь более не могут закрывать глаза на его недостатки. В этой статье мы сконцентрируемся на отсутствии в P-CAD режима 3D-предпросмотра платы и разберёмся, какие существуют альтернативы (PADS/Xpedition, OrCAD/Allegro, Altium Designer, DipTrace).

## Модуль в штат

Пользователи придумали множество способов трёхмерной визуализации плат P-CAD через IDF-экспорт с использованием сторонних программ, например SolidWorks. Некоторые специалисты даже делают «скриншот» платы и накладывают на модель PNG-текстуры, чтобы результат выглядел более презентабельно. У этого и других подобных методов есть множество недостатков, среди них:

- большие временные затраты;
- необходимость наличия стороннего ПО, даже для того чтобы просто взглянуть на макет;
- высокая стоимость 3D-софта; бесплатные аналоги либо крайне неудобны, либо нефункциональны.

Все ведущие системы САПР для разработки электронных печатных плат уже долгое время встраивают штатные модули для 3D-визуализации, которые позволяют инженеру взглянуть на трёхмерную модель платы со всеми установленными на ней электронными компонентами. Видя перед собой готовое устройство, можно легко оценить возможные недостатки. Например, выявить ошибки, связанные с высотой компонентов, ограничениями будущего корпуса устройства и так далее. Мощные и функциональные 3D-модули есть не только у программ из высшего ценового сегмента – PADS/Xpedition, OrCAD/Allegro, Altium Designer, но и среди уверенных «среднячков», типа DipTrace и Pulsonix



(чего не скажешь о легендарном «EAGLE», где есть только IDF-экспорт – только плата, без моделей компонентов). Кстати, 3D-визуализацией могут похвастаться и некоторые бесплатные САПР. Например, KiCAD и DesignSpark, но её качество у них очень далеко от уровня визуализации даже самой доступной из вышеназванных – DipTrace.

## 3D-экспорт

Для бесплатного «софта» трёхмерная визуализация пока не более чем уловка, так как без полноценного 3D-экспорта это просто игрушка. Именно возможность не только увидеть модель платы, но и сохранить её в понятном для механических САПР формате – это ключ к реальной интеграции на производстве, когда, например, из отдела «электронщиков» проект идёт к «механикам», которые разрабатывают корпус. Сегодня общепринятым форматом такого обмена является STEP. Кроме того, экспорт в другие форматы тоже не помешает. «Киты» вроде PADS и Altium Designer уже давно работают не только со STEP, но и с экспортом 3D PDF и прочими, а у DipTrace в дополнение к STEP есть VRML-экспорт (в работе редко используется, но иметь его под рукой неплохо).

## Импорт моделей компонентов

У некоторых программ есть свои библиотеки, но нельзя забывать, что какими бы большими они ни были, количество моделей в них всё равно ограничено. Кстати, 3D-модель зачастую можно скачать с сайта любого производителя, притом бесплатно. В электронной САПР модель просто импортируется или «подвязывается» к корпусу компонента, после чего она появляется на плате при просмотре/экспорте.

Если модели у компонента нет, то посадочное место останется пустым.



Иногда можно обойтись и без неё. Если фотографичность и детальность не требуются, то, например в EAGLE, Altium и в более дорогих программах можно просто указать высоту и иногда нарисовать фигуру по контуру посадочного места. В DipTrace такой опции нет, поэтому даже самый простой куб нужно будет рисовать или искать в Интернете, что, в общем-то, тоже не трудно.

Как и в случае с платами, STEP – наиболее распространённый формат 3D-моделей компонентов. С ним работают все вышеупомянутые программы. Некоторые (например, Altium Designer и DipTrace) импортируют ещё и форматы VRML, 3DS и IGES.

## Что выбрать?

Главным критерием при выборе САПР для многих наверняка будет не только функциональность (и не только в режиме 3D), но и, конечно же, цена. Если вы не готовы платить за программу большие деньги, то PADS/Xpedition поразит возможностями своего 3D-предпросмотра с опциями «разреза» платы по трём осям в реальном времени, а также своей продуманностью и отточенностью. Преимущество Altium – в интегрированной системе разработки проекта и удобных облачных хранилищах (Altium Vaults). Если ресурсы ограничены, то стоит присмотреться к DipTrace, чей конёк – простой интерфейс и практически соизмеримый с Altium 3D-модуль. Кроме того, есть ещё британская программа Pulsonix и немецкая Target 3001, а также очень редкая в наших широтах японо-британская Cadstar (которая в последнее время заметно активизировалась, но доступной так и не стала) и многие другие. К сожалению, рассказать обо всех программах в одной статье невозможно. Главное, что есть выбор.

# Источники питания для монтажа на плату

- ✓ Низкая стоимость
- ✓ Высокая надёжность
- ✓ Короткое время выполнения заказа
- ✓ Стандартная площадь посадочного места
- ✓ Наивысшая удельная мощность



5 Вт  
AC/DC  
площадь  
1"×1"

## Маломощные источники питания AC/DC для установки на плату



### Серия ECE

- От 5 до 40 Вт
- Ультратонкие площадью от 1"×1"
- Герметизированное исполнение
- Одно- и двухканальные модели
- Потребляемая мощность в режиме холостого хода < 0,3 Вт



### Серия ECL

- От 5 до 30 Вт
- Ультратонкие
- Одно- и многоканальные модели
- Герметизированное исполнение и открытый корпус
- Потребляемая мощность в режиме холостого хода < 0,3 Вт



20 Вт  
DC/DC  
площадь  
1"×1"

## Серии DC/DC-преобразователей в стандартном исполнении

### От 1 до 3 Вт



- Корпуса SIP и DIP
- Варианты со стабилизацией выходного напряжения и с низким коэффициентом стабилизации
- Входы 2:1, 4:1 и ±10%
- Гальваническая развязка вход-выход от 500 В до 6 кВ

### От 2 до 6 Вт



- Площади оснований 1"×1", 1"×2", 2"×2" и DIP-24
- Одно-, двух- и трёхканальные модели со стабилизированными напряжениями
- Широкий диапазон входного напряжения 2:1 и 4:1
- Гальваническая развязка вход-выход до 3,5 кВ

### Соответствие требованиям медицинских стандартов



- От 3 до 10 Вт
- IEC60601-1, 3-е издание
- Усиленная изоляция 4 кВ (переменный ток)
- Ток утечки на пациента 2 мкА

### Драйверы для светодиодных систем освещения



- От 5 до 48 Вт
- Ток нагрузки до 1000 мА
- Режим генератора тока
- КПД 95%

### Модели для поверхностного монтажа



- 1 и 2 Вт
- Варианты со стабилизацией выходного напряжения и с низким коэффициентом стабилизации
- Входы 2:1, 4:1 и ±10%
- Одно- и двухканальные модели

## Загрузите

интерактивное руководство по выбору преобразователей AC/DC и DC/DC

[www.xppower.com/literature\\_downloads](http://www.xppower.com/literature_downloads)



Посетите наш сайт и загрузите последний выпуск каталога продукции:  
[www.prosoft.ru/xp\\_power](http://www.prosoft.ru/xp_power)



GREEN+POWER



Селектор для загрузки в мобильные устройства



XP Power



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • [info@prosoft.ru](mailto:info@prosoft.ru) • [www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)

# Не удовлетворены скоростью разработки устройств в стандарте PAM-4 ?

Мы предлагаем вам весь необходимый инструментарий для серьезного технологического рывка вперед.

Каждый день, каждый месяц, из года в год растут потребности во все более высокой пропускной способности линий передачи данных, а узкие места появляются повсеместно. Решение? Попробуйте внедрить стандарт PAM-4. Если у вас есть технические задачи, связанные с PAM-4 или Ethernet, мы поможем! Компания Keysight является лидером в разработке и производстве контрольно-измерительных решений для цифрового анализа, а также решений для полного цикла моделирования и разработки устройств PAM-4.

## HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = PAM-4 INSIGHTS

Решения для разработки и тестирования устройств PAM-4 на соответствие стандарту

САПР ADS для корреляции результатов моделирования и измерений

Более 4000 измерительных решений



Осциллографы Keysight Infiniium Z-серии  
Решения для тестирования на соответствие существующим и зарождающимся стандартам PAM-4/Ethernet

СВЧ-анализатор цепей N5245A серии PNA-X с ПО для тестирования физического уровня N1930B  
Измерительные решения для тестирования гигабитных Ethernet-каналов передачи данных

Высокопроизводительный BERT-тестер Keysight M8020A  
Наиболее интегрированное решение для тестирования 100G Ethernet

САПР Keysight ADS для анализа целостности сигнала  
Корреляция результатов моделирования и измерений для испытаний на соответствие Ethernet PAM-4 и NRZ с помощью специального решения Ethernet Compliance Test Bench

Широкополосный осциллограф Keysight Infiniium серии DCA-X  
Решения для тестирования на соответствие зарождающимся оптическим и электрическим стандартам PAM-4/Ethernet

Генератор сигналов произвольной формы Keysight M8195A, 65 Гвыб/с  
Функционально-гибкое решение для генерации потоков PAM-4 для 400G Ethernet

Загрузите наши материалы по тестированию PAM-4 по ссылке [www.keysight.com/find/PAM-4-insight](http://www.keysight.com/find/PAM-4-insight)

8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

© Keysight Technologies, Inc. 2015



**KEYSIGHT**  
TECHNOLOGIES

Unlocking Measurement Insights

Реклама