

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

# 4 2017

WWW.SOEL.RU

## В НОМЕРЕ:

- 15 лет компании ДОЛОМАНТ!
- HARTING @ Hannover Messe: вместе 70 лет
- Термобарокамера для проверки РЭК для космоса
- Элементы ограничения импульсного напряжения типа ЭОН
- Решения для тестирования автомобильных DC/DC-преобразователей
- Средства программирования PIC-контроллеров
- Путь к импортнезависимости и многое другое...



App Store



Google Play



Реклама

- > Реле и контакторы полностью герметичны по стандарту IP67 и IP69
- > Компактный размер и различные варианты монтажа обеспечивают высокую гибкость при проектировании
- > Рабочее напряжение реле – до 100 000 В  
Рабочий ток реле – до 150 А
- > Рабочее напряжение контакторов – до 1500 В  
Рабочий ток контакторов – до 1500 А
- > Возможна модификация реле под требования заказчика

# Широкополосные усилители мощности. Самые совершенные технологии, основанные на десятилетиях успешной работы и опыта.

Компания Rohde&Schwarz имеет более чем 65-летний опыт в разработке передатчиков с использованием самых передовых технологий. Используя накопленный опыт, мы предлагаем технологически совершенные и надежные решения для Ваших задач на базе широкополосных усилителей мощности с воздушным и жидкостным охлаждением от компактных моделей до готовых систем для ЭМС.

**3** года  
гарантии  
Расширяем до 5 лет



Реклама

**Главный редактор**  
А.А. Смирнов

**Заместитель главного редактора**  
А.А. Хлынов

**Редакционная коллегия**  
А.Е. Балакирев, В.К. Жданкин,  
С.А. Сорокин, А.Н. Туркин,  
Р.Х. Хахимов

**Литературный редактор**  
О.И. Семёнова

**Вёрстка**  
М.В. Петрова, А.М. Бабийчук

**Обложка**  
Д.В. Юсим

**Распространение**  
И.С. Лобанова  
(info@soel.ru)

**Реклама**  
И.Е. Савина  
(advert@soel.ru)

**Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»**  
Генеральный директор К.В. Седов  
Адрес учредителя, издателя  
и редакции: ул. Чертановская,  
д. 50, корп. 1, г. Москва, 117534  
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

Подписные индексы по каталогу  
агентства «Роспечать»:  
на полугодие – 46459, на год – 36280.

Свободная цена

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОП»  
Адрес: 105187, г. Москва, ул. Вольная, д. 28, стр. 10  
Тел./факс: (495) 786-7714

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.  
Мнение редакции не обязательно совпадает  
с мнением авторов.  
Все упомянутые в публикациях журнала наименования  
продукции и товарные знаки являются собственностью  
соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2017

# 4/2017 Contents

## THE ISSUE PERSON

<b>DOLOMANT – Adaptability, Responsibility, Professionalism</b> .....	4
<b>HARTING @ Hannover Messe: Strong Connection for 70 Years</b> .....	6

## MARKET

<b>Russian Market News</b> .....	10
----------------------------------	----

## MODERN TECHNOLOGIES

<b>Terahertz Thermovoltaics Based at Single Crystal LPE i-GaAs (SiO). Part 2</b> .....	16
<i>Viktor Voytovich, Aleksandr Gordeev, Anatoliy Zvonarev</i>	
<b>Silicon and Arsenide Gallium-Aluminum Technology: Concept of Building a 3D M M FEF and Products on Their Basis. Part 2</b> .....	24
<i>Valeriy Svede-Shvets, Vladislav Svede-Shvets, Maksim Zinoviev</i>	

## TOOLING AND EQUIPMENT

<b>The Environment Simulation Chamber for Testing Electronic Components and Space-Grade Modules</b> .....	30
<i>Mikhail Nikitin</i>	
<b>Problems of Using Imported Electronic Components</b> .....	35
<i>Aleksandr Lanovoy</i>	

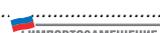
## ELEMENTS AND COMPONENTS

<b>Modern 32-bit ARM Microcontrollers Series STM32: SD and MMC Use in SPI Mode</b> .....	38
<i>Oleg Val'pa</i>	
<b>Gigavac Relay in Various Operating Conditions</b> .....	44
<i>Denis Yakovlev</i>	
<b>Domestic Coaxial-Microstrip Connectors</b> .....	48
<i>Mikhail Glukhovtsev</i>	



## DEVICES AND SYSTEM

<b>Modern Electric Drive Control Systems Review</b> .....	54
<i>Dmitriy Kobayakov</i>	
<b>Litemax Display Technologies for Transportation Usage</b> .....	60
<i>Igor Mateshev</i>	
<b>Cobalt Series Vector Network Analyzers</b> .....	64
<i>Vladimir Guba, Olesya Bykova, Olga Mosina, Aleksandr Savin</i>	
<b>EON Type Limit Pulse Voltage Components</b> .....	70
<i>Valeriy Kolosov</i>	



## ENGINEERING SOLUTIONS

<b>The Instrumental Amplifier Use for Bridge Incorporating of Two Powerful Operational Amplifiers. Part 1</b> .....	74
<i>Aleksey Kuzminov</i>	
<b>Autonomous Use of 4D Systems Intelligent Display Modules. Part 1</b> .....	80
<i>Pavel Red'kin</i>	

## DESIGN AND SIMULATION

<b>Implementing a Cost-Effective Solution for Automotive DC/DC-Converter Testing</b> .....	88
<i>Lok Teng Kee</i>	
<b>Digital Filtering on the AVR Microcontroller. Part 2</b> .....	90
<i>Vadim Baranov</i>	
<b>PIC-Controllers Programming Tools. Part 1</b> .....	94
<i>Vladimir Davydov</i>	
<b>The Rules Control System in Delta Design EDA. Part 1</b> .....	100
<i>Georgiy Shamanov</i>	
<b>Leveraging 3D Layout to Optimize PCB System Designs</b> .....	104
<i>Danit Atar</i>	



## COMPETENT OPINION

<b>The Path to the Import Self-Sufficiency</b> .....	110
<i>Aleksey Medvedev</i>	

# Содержание 4/2017

ПЕРСОНА НОМЕРА	
4	<b>ДОЛОМАНТ</b> – технологичность, ответственность, профессионализм
6	<b>HARTING @ Hannover Messe:</b> прочная связь на протяжении 70 лет
РЫНОК	
10	Новости российского рынка
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
16	<b>Терагерцовая тепловольтаика на основе монокристаллов LPE i-GaAs (SiO).</b> Часть 2 <i>Виктор Войтович, Александр Гордеев, Анатолий Звонарёв</i>
24	<b>Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: концепция построения 3D МФЗФ М и изделий на их основе.</b> Часть 2 <i>Валерий Сведе-Швец, Владислав Сведе-Швец, Максим Зиновьев</i>
ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	
30	<b>Термобарокамера для проверки радиоэлектронных компонентов и модулей для космоса</b> <i>Михаил Никитин</i>
35	<b>Проблемы использования импортной ЭКБ</b> <i>Александр Лановой</i>
ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ	
38	<b>Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: использование карт памяти SD и MMC в режиме SPI</b> <i>Олег Вальпа</i>
44	<b>Реле компании Gigavac в различных условиях эксплуатации</b> <i>Денис Яковлев</i>
48	<b>Отечественные коаксиально-микроразъемные соединители</b> <i>Михаил Глуховцев</i>
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ	
54	<b>Обзор современных систем управления электроприводами</b> <i>Дмитрий Кобяков</i>
60	<b>Дисплейные технологии Litemax для применения на транспорте</b> <i>Игорь Матешев</i>
64	<b>Векторные анализаторы цепей серии Кобальт</b> <i>Владимир Губа, Олеся Быкова, Ольга Мосина, Александр Савин</i>
70	<b>Элементы ограничения импульсного напряжения типа ЭОН</b> <i>Валерий Колосов</i>
ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ	
74	<b>Применение инструментального усилителя для мостового включения двух мощных ОУ. Часть 1</b> <i>Алексей Кузьминов</i>
80	<b>Автономное применение интеллектуальных дисплейных модулей от 4D Systems. Часть 1</b> <i>Павел Редькин</i>
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ	
88	<b>Недорогие решения для тестирования автомобильных DC/DC-преобразователей</b> <i>Лок Тенг Ки</i>
90	<b>Цифровая фильтрация на микроконтроллере AVR. Часть 2</b> <i>Вадим Баранов</i>
94	<b>Средства программирования PIC-контроллеров. Часть 1</b> <i>Владимир Давыдов</i>
100	<b>Система управления правилами в САПР Delta Design. Часть 1</b> <i>Георгий Шаманов</i>
104	<b>Преимущества трёхмерного моделирования при создании современных ПП</b> <i>Данит Атар</i>
КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ	
110	<b>Путь к импортонезависимости</b> <i>Алексей Медведев</i>

## ПОДПИСКА 2017

Концепция распространения журнала – бесплатная подписка для специалистов.



Предусмотрена подписка на печатную версию журнала или его электронный вариант.

Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление на каждый последующий год.

Редакция напоминает о необходимости продления подписки на 2017 год.

## Электронная версия для мобильных устройств

Скачайте 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:

- журнал будет гарантированно доставлен, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- подписаться может любой желающий;
- 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](mailto:info@periodicals.ru)

# ДОЛОМАНТ – технологичность, ответственность, профессионализм

**В этом году контрактному производству компании ДОЛОМАНТ 15 лет! Новые направления и расширение производства, реализованные проекты и инновационные разработки – всё это обеспечивает ДОЛОМАНТ устойчивость и большие перспективы развития.**

Путь слаженного и уникального коллектива начался в 1998 году, когда команда специалистов занялась разработкой и производством высокотехнологичного электронного оборудования для жёстких условий эксплуатации. С тех пор кардинально изменились подход к ключевым процессам производства и сервисного обслуживания, требования к продукции и услугам, сами изделия и мышление разработчиков, а также масштабы деятельности ДОЛОМАНТ. Но избранная ниша – изготовление изделий для ответственного применения в жёстких условиях эксплуатации – остаётся неизменной.

В 2002 году было запущено собственное монтажное производство, которое на тот момент было уникальным для России и соответствовало уровню ведущих мировых производителей сложной электроники.

Выпуск всей номенклатуры изделий компании был полностью переведён на собственные производственные мощности, что позволило взять под контроль все критические технологические процессы и выйти на уровень соответствия мировым стандартам качества.

Одновременно было открыто новое для того уровня развития электронной промышленности страны направление деятельности: контрактное производство электроники – абсолютно самостоятельный сложный технический и организационный процесс.

Начиная с 2002 года компания ДОЛОМАНТ активно внедряла в профессиональное сообщество термин «контрактное производство» вместо использовавшегося в то время заимствованного слова «аутсорсинг».

Данное направление имеет важнейшее значение для компании с первого же года запуска и по сей день. Вот уже 15 лет контрактное производство занимает более 50% всех ресурсов предприятия, зачастую являясь двигателем развития и освоения новых технологий и наращивания производственных мощностей.

На сегодняшний день компания реализует специализированные решения для таких отраслей, как нефтегазовая промышленность, телекоммуникации и защита информации, атомная энергетика, железнодорожный транспорт, медицинская аппаратура и техника специального назначения.

Подход к изделиям собственной разработки и проектам внешних заказчиков един, требования жёсткие, а приоритеты в распределении ресурсов зачастую отдаются проектам внешних заказчиков. Главное богатство и гордость 15-летнего цикла развития – десятки тысяч клиентов, тысячи постоянных заказчиков, многие из которых стали надёжными долгосрочными партнёрами.

Сегодня ДОЛОМАНТ – одно из ведущих российских предприятий по уровню оборудования и технологий, сложно-

сти и качеству выпускаемой продукции, которое обеспечивает полный жизненный цикл производства, в том числе:

- ОКР, технологические консультации;
- макеты, установочные партии;
- полное комплектование производства, поддержание складов;
- серийное плановое производство;
- гарантийный и постгарантийный сервис.

Дизайн-центр ДОЛОМАНТ в кратчайшие сроки готов разработать электронное оборудование любой степени сложности по техническому заданию заказчика в таких направлениях, как:

- модификация КД существующего изделия;
- разработка спецвычислителя на базе СОМ-модуля;
- конфигурирование модульного корпусированного изделия;
- сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика;
- разработка изделия «с нуля».

Результат пути длиной в 15 лет – линейка высококлассных современных образцов отечественной электроники. Компетенции и уверенность в собственных силах дают компании возможность реализовывать проекты любой сложности от ОКР до серийных поставок.

Экспертный опыт, получаемый в результате непрерывного и плодотворного сотрудничества с сотнями ведущих российских разработчиков, позволяет всегда идти на шаг впереди, предугадывать потребности заказчика, а также учитывать новейшие тенденции в технологиях, материалах и процессах создания электроники для различных отраслей – от ЖКХ до атомной энергетики и ракетно-космической отрасли.

В следующих статьях разговор пойдёт о том, как устроено производство ДОЛОМАНТ, благодаря каким компетенциям компании удалось не просто преодолеть кризис 2014 года, но и воспользоваться новыми возможностями, продолжить активное развитие. Сотрудники компании делятся информацией о том, почему важно опираться на собственные разработки и технологические достижения в критически важных производственных процессах.

## Этапы пути компании ДОЛОМАНТ

### 2002 год – 1 линия

Суммарная производительность – 40 000 компонентов/час  
Технологический предел типоразмеров компонентов – 0603, BGA

### 2008 год – 2 линии

Суммарная производительность – 183 000 компонентов/час  
Технологический предел типоразмеров компонентов – 0201, BGA, QFN

### 2017 год – 3 линии

Суммарная производительность – 327 000 компонентов/час  
Технологический предел типоразмеров компонентов – 01005, BGA, QFN





ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ ОТВЕТСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
ДЛЯ СЛОЖНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



**15 ЛЕТ ПЕРЕДОВЫМ  
СТАНДАРТАМ  
ПРОИЗВОДСТВА**

*Экспериментируя с новым, мы сохраняем лучшее,  
развиваясь в соответствии с задачами партнеров и заказчиков.*

*Благодарим всех участников сложного, общего для всех нас дела –  
внедрения ответственной отечественной электроники –  
и приглашаем вас в следующее «пятнадцатилетие»!*



**1100** проектов



**72 000** наименований



**2 100 000** изделий

# HARTING @ Hannover Messe: прочная связь на протяжении 70 лет

В преддверии выставки HANNOVER MESSE (24–28 апреля 2017 г.), компания HARTING Technology Group совместно с организаторами выставки провела пресс-тур для представителей СМИ из разных стран, в том числе и для российских журналистов. Специалисты компании ПРОСОФТ посетили это мероприятие, приняли участие в технических семинарах и конференциях, а также побеседовали с директором по связям с общественностью компании HARTING на темы, касающиеся ключевых направлений развития и инвестиций в будущие проекты.

2017 г. является особым для крупнейшей мировой промышленной и торговой ярмарки HANNOVER MESSE, так как в этом году ей исполняется ровно 70 лет. Компания HARTING Technology Group имеет все основания присоединиться к этому празднованию. Эта фирма, управляемая членами семейства Harting уже три поколения, является одним из немногих участников выставки, которая проводится в столице нижней Саксонии ежегодно, начиная с 1947 г. HANNOVER MESSE имеет большое значение для HARTING по различным причинам. Один из примеров: на этой выставке компания презентовала первый в мире прямоугольный коннектор HAN, запатентованный в 1956 г., который открыл новую страницу в истории разъёмных соединений и привлёк огромное число посетителей на выставку. Семидесятая годовщина HANNOVER MESSE для HARTING станет очень значимым событием. Посетителей встретит стенд компании, общей площадью 1600 м<sup>2</sup>. HARTING также

будет присутствовать в качестве партнёра на нескольких общих стендах. По традиции будет продемонстрировано много новых решений и концептов для всех приложений в области промышленных соединений и Industrie 4.0.

Участие компании в выставке в этом году пройдёт под лозунгом «HARTING @ Hannover Messe: прочная связь на протяжении 70 лет». Тематика HANNOVER MESSE 2017 – «Интегрированная промышленность увеличивает выгоду» («Integrated Industry – Creating Value»). «В этом году на HANNOVER MESSE мы продемонстрируем, как наши продукты и решения могут внести реальный вклад в увеличение выгоды для наших заказчиков», – говорит генеральный директор Филип Хартинг (Philip Harting).

В ходе пресс-тура, во время которого часть мероприятий проходила в г. Эспелькамп, где располагается штаб-квартира и производство HARTING, журналистам удалось посетить заводы компании и увидеть некоторые примеры автоматизации про-

цессов. HARTING не только предлагает рынку свои продукты, но и показывает на примере своего производства, как внедрять их в рамках построения Industrie 4.0. Так, при помощи платформы MICA были автоматизированы некоторые процессы упаковывания продукта перед отправкой заказчику. При этом удалось добиться сокращения количества ошибок, возникающих раньше на данном этапе, до нуля, а также значительно снизить затраты на упаковку и время. MICA – это промышленный микрокомпьютер повышенной прочности и с классом защиты IP67. Он изготовлен из открытых аппаратных и программных компонентов. В отличие от одноплатных компьютеров, таких как Raspberry Pi, конструктив MICA состоит из трёх печатных плат:

- плата с блоком питания и сетевым подключением;
- плата с процессором, памятью и слотом micro SD;
- плата для пользовательской функции.

Плата для пользовательской функции может быть спроектирована и создана индивидуально для реализации требуемых задач. Прочный конструктив, форм-фактор и степень защиты IP67 остаются неизменными после внесения корректировок в программно-аппаратную часть. Программное обеспечение работает на базе ОС Linux с конфигурацией, оптимизированной для встроенных приложений. Все приложения MICA запускаются в контейнерах LXC,



в изолированных программных средах. Все необходимые программные библиотеки и драйверы содержатся в соответствующих контейнерах. Это способствует независимости пакетов программ и решает проблемы несовместимости. Открытый модульный подход позволяет пользователю выбирать язык программирования и среду разработки.

В рамках пресс-тура прошли серии технических семинаров и конференций. Специалистам ПРОСОФТ удалось пообщаться с директором по связям общественностью в HARTING Technology Group – Дэтлифом Сивердинбэком (Detlef Sieverdingbeck). Дэтлиф поделился секретом успеха компании, рассказал о её статусе на европейском и мировом рынках, а также приоткрыл завесу будущих проектов и направлений развития компании.

*С чего начиналась компания HARTING и кто руководит ею сегодня? На какие рынки ориентируется руководство?*

Компания была основана в 1945 г. и начала свою деятельность с производства электронного оборудования для домашнего хозяйства: утюги, конфорочные плиты, энергосберегающее осветительное оборудование. Следующее десятилетие было отмечено производством медицинской аппаратуры, магнитофонов и музыкальных автоматов. Основателями компании были Вильгельм Хартинг (Wilhelm Harting) и его жена Мари (Marie). Вильгельм был бывшим инженером в области авиационной промышленности. В настоящее время компанией управляет второе и третье поколения семьи Хартинг (Harting): Филип Хартинг (Philip Harting) является генеральным директором, Мареса Хартинг-Герц (Maresa Harting-Hertz) – финансовым директо-

ром, Дитмар (Dietmar) и Маргрит Хартинг (Margrit Harting), а также ещё три члена совета директоров, отвечают за производство, персонал и R&D (исследование и разработку). Компания является лидером на рынке прямоугольных разъёмов. При этом мы ориентируемся, прежде всего, на рынки транспорта, робототехники, автоматизации и ветроэнергетики.

*Что стало причиной того, что компания сфокусировалась на соединительных компонентах? Какой объём немецкого, европейского и мирового рынков занимает продукция HARTING (соединители, коннекторы, разъёмы)? Как Вы оцениваете объём российского рынка – потребность российских компаний в продукции HARTING? Расскажите подробнее об областях применения продукции HARTING.*

Продукция HARTING занимает значительную долю рынка Германии и Европы, а также усиливает позиции на рынках Северной и Южной Америки, Азии. В России и Восточной Европе мы показали большой рост в течение двух последних лет. Особенно в России. Здесь рост на уровне выше среднего показателя роста HARTING держится за счёт успешных проектов в транспортном сегменте. Так что мы планируем и дальше продолжать наращивать производство кабельных сборок на заводе в Екатеринбурге. В России мы видим большой потенциал для продвижения и внедрения продукции HARTING. Высокое качество, конкурентоспособные цены и локализация производства – всё это даёт нам очень хорошую основу для роста. В России мы ориентируемся на те же отрасли, что и на других рынках: транспорт, энергетика, техника и робототехника.



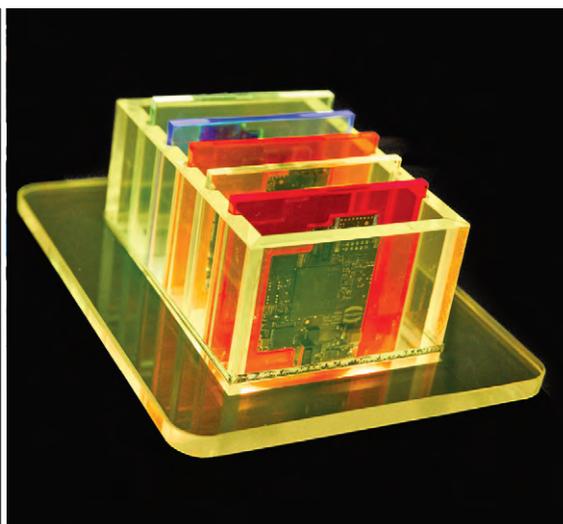
Дэтлиф Сивердинбэк

*Что сегодня представляет собой компания HARTING? Какие основные направления развиваются? Во что вкладываются деньги?*

Сегодня HARTING – это компания с оборотом в €600 млн и общей численностью сотрудников 4300 человек. 2400 человек работают в Германии, а другие 1900, главным образом, – в Европе, Азии и Америке. У нас 43 дочерних предприятия и 14 производственных площадок. Последний завод был открыт в Ченнаи (Индия) в прошлом месяце. Наши основные направления для инвестиций – это создание продуктов и решений для «умного» производства, а также разработка интеллектуальных систем соединения. Мы внедряем собственные продукты на наших заводах, чтобы быть более эффективными, быстрыми и обеспечивать лучший сервис для наших клиентов. Также мы усиливаем наше присутствие на глобальных рынках и развиваем каналы продаж. Ещё одна большая инвестиция для нас – это новый Европейский дистрибуторский центр (EDC) с бюджетом в €40 млн, расположенный в г. Эспелькамп (Германия). Мы планируем создать большой склад в Европе с постоянно пополняемым запасом компонентов, чтобы сократить сроки поставки: доступность является определяющим фактором успеха компании.

*В прошлом году на выставке HANNOVER MESSE главной темой была Industrie 4.0. В этом году тематика производства будущего получила*





*развитие – Creating Value. Что в данном ключе покажет HARTING на апрельской выставке?*

Industrie 4., или Интегрированная промышленность по-прежнему является актуальной темой. Она будет оставаться определяющим фактором и в будущем. Последние несколько лет разработка новых решений для подключения машин и оборудования к Интернету была в центре пристального внимания профессиональной общественности. Теперь важно показать, как эти новые продукты будут приносить клиентам дополнительную выгоду. IoT или Industrie 4.0 поднимают целый ряд вопросов и ставят перед нами множество задач: увеличение мощности систем и разъёмов, миниатюризация компонентов, индивидуальные требования (модульные структуры), перевод данных в цифровой формат и т.д.

На выставке HANNOVER MESSE 2017 мы продемонстрируем наши новые решения, которые отвечают всем этим требованиям. Топ-продукт компании, получивший награду HERMES, – это MICA (Модульная промышленная вычислительная архитектура). MICA является проводником между миром старых машин и оборудования и Интернетом вещей. Этот микрокомпьютер позволяет временно хранить, оценивать и обрабатывать данные в непосредственной близости от устройств. Благодаря открытой модульной платформе, в MICA может использоваться пользовательское оборудование, программное обеспечение и интерфейс – всё с учётом индивидуальных пожеланий заказчика. Эта система позволяет использовать себя как компьютер и, в тоже время, она «общается» с цент-

ральными IT-системами и облачным сервисом.

HARTING уже занимается разработкой новой версии MICA – Mini MICA, которая будет представлена на HANNOVER MESSE 2017 в составе нового концепт-кара Oasis от швейцарской компании Rinspeed. Mini MICA использует различные модули для настройки систем Oasis в соответствии с требованиями пользователя транспортного средства. Это позволяет реализовать индивидуальный подход и эффективное использование ресурсов концепт-кара. Как всё это выглядит и работает, можно будет увидеть на стенде компании HARTING Technology Group.

*Где сегодня в Германии реально работаем Industrie 4.0?*

Яркий пример – наши же предприятия. Industrie 4.0 является ключевой и очень популярной темой в Германии. Многие инновационные компании, такие как HARTING, внедряют эти технологии на своём производстве. С нашими продуктами MICA, Han-Modular, Han Eco V и новейшими разъёмами HARTING ix Industrial®, HARTING T1 Industrial® и M8 D-coded мы чувствуем себя готовыми к Четвёртой промышленной революции.

*В чём секрет успеха компании HARTING?*

Самое главное – мы являемся инновационной компанией. Только HARTING получила премию HERMES дважды. У нас есть тысячи патентов и мы являемся новаторами в создании прямоугольных разъёмов HAN® и множества их модификаций. Каждый год мы отмечаем важные даты, связанные с созданием и разработкой наших успеш-

ных продуктов. Успех, можно сказать, заложен в нашей ДНК. С другой стороны, мы делаем упор на производство и развитие канала продаж. У нас очень талантливая команда дизайн-центра и мы применяем много стратегий, чтобы сделать наши продукты лучше, чем у конкурентов. С нашей развитой сетью продаж в 43 странах мира мы находимся настолько близко к нашим заказчикам, что благодаря этому инженеры HARTING лучше понимают потребности рынка.

*Что Вы думаете о развитии технологий соединения будущего? Каким Вы видите коннектор будущего?*

Это достаточно трудный, но интересный вопрос. Честно говоря, мы не можем сказать, что знаем все аспекты будущего. Но реальность такова, что соединители становятся умнее. Они оснащаются датчиками, имеют возможность подключения к Интернету и даже больше...

## ЛИТЕРАТУРА

1. Integrated Industry: HARTING has Customer Benefit Firmly in its Sights. Пресс-релиз HARTING.
2. Faithful Exhibitors Right from the Start: HARTING Celebrates Big Hannover Messe Anniversary. Пресс-релиз HARTING.
3. [www.harting.com/startseite/](http://www.harting.com/startseite/).
4. Романовская О.В. Решения и технологии компании HARTING Technology Group для создания «умного» производства. Современная электроника. 2016. №3.
5. [www.theautochannel.com/news/2017/02/27/351711-rinspeed-oasis-grow-your-own-and-go.html](http://www.theautochannel.com/news/2017/02/27/351711-rinspeed-oasis-grow-your-own-and-go.html).

*Материал подготовила  
Ольга Романовская*



### Векторные анализаторы цепей серии S3602

- Диапазон частот: 10 МГц – 13,5 ГГц / 26,6 ГГц / 43,5 ГГц / 50 ГГц / 67 ГГц
- Многоканальные измерения, многооконный дисплей
- Измерения S-параметров (до 325 ГГц с модулями SAV364X)
- Измерения: во временной области; импульсных S-параметров, параметров антенн, смесителей и ЭПР объектов



### Портативные анализаторы спектра S3331A/B

- Диапазоны частот от 9 кГц до 3 и 7,5 ГГц
- Средний уровень собственных шумов во всем диапазоне сканирования менее –140 дБмВт (тип. – 160 дБмВт)
- Спектральная плотность фазовых шумов <–100 дБн при отстройке 100 кГц
- Время сканирования полного диапазона частот <50 мс
- Погрешность измерения уровня сигнала  $\pm 1,5$  дБ
- Следящий генератор до 3,2 ГГц
- Анализ интерференций
- Вес 3 кг



### Синтезированные генераторы сигнала серии S1103

- Диапазон частот: 250 кГц – 20 ГГц / 40 ГГц / 50 ГГц / 67 ГГц
- Широкий динамический диапазон и прецизионный уровень выходного сигнала
- Амплитудная, частотная, фазовая и импульсная модуляции выходного сигнала
- Низкий уровень фазовых шумов
- Возможность расширения диапазона до 500 ГГц с модулями серии SAV82406



### Анализаторы сигналов серии S3503

- Диапазон частот: 3 Гц – 4 ГГц / 9 ГГц / 13,2 ГГц / 18 ГГц / 26,5 ГГц / 45 ГГц / 50 ГГц
- Максимальная полоса анализа 200 МГц
- Высокочувствительный анализ спектра, IQ-анализ, анализ импульсных сигналов, анализ аудиосигналов, анализ аналоговых модулированных сигналов и измерение фазовых шумов
- Превосходные значения уровня собственных фазовых шумов
- Возможность расширения до 325 ГГц

Реклама

**Работа в диапазоне до 500 ГГц без экспортных лицензий и ограничений**

**SALUKI – высококлассное контрольно-измерительное оборудование по доступной цене**



ОДНА ПЛАТФОРМА, БЕЗ ПРЕГРАД.

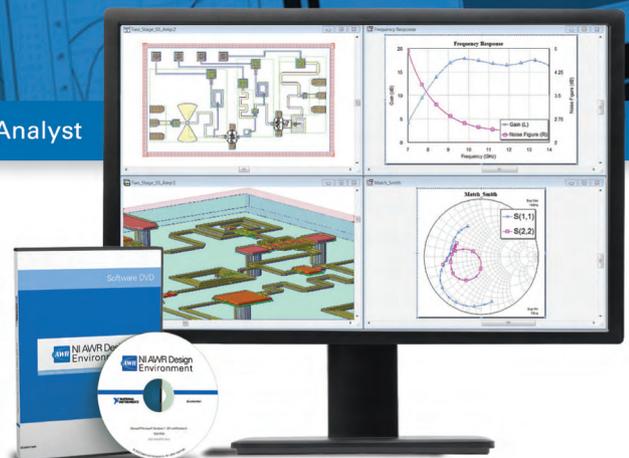
# Простота гениальна

NI AWR DESIGN ENVIRONMENT

NI AWR Design Environment™ - это единая платформа, объединяющая системный, схемотехнический и электромагнитный анализ, для разработки продвинутых современных беспроводных систем: от базовых станций и мобильных телефонов до систем спутниковой связи. Интуитивно понятный пользовательский интерфейс, проверенные технологии симуляции и доступная архитектура с поддержкой сторонних решений – всё это устраняет преграды на пути к вашей успешной разработке! Проектирование стало гениально проще.

Более подробно см. на [awr.com/ru](http://awr.com/ru)

Microwave Office | Visual System Simulator | Analog Office | AXIEM | Analyst



## Новости российского рынка

### СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

#### Altium Designer со скидкой 20%!

Компания «Родник», официальный реселлер компании Altium Ltd., сообщает о начале действия специального предложения по одновременному приобретению пяти полнофункциональных рабочих мест Altium Designer со скидкой 20%.

В рамках данного предложения можно приобрести лицензии Altium Designer по специальной цене (см. таблицу). Стоимость, в которую включена цена подписки сроком на один год, указана за одну

лицензию и действительна при одновременном приобретении пяти рабочих мест.

[sales@rodnik.ru](mailto:sales@rodnik.ru)

Тел.: (499) 613-7001



Код продукта	Постоянные лицензии	Цена без НДС, руб.	Цена с НДС, руб.
14-000-171-PCSL-Promo	Altium Designer – Standalone Perpetual Commercial License: AD2017 Single Site	445 370,40	525 537,07
14-000-171-PCSR-Promo	Altium Designer – Private Server Perpetual Commercial License: AD2017 Single Site	479 498,40	565 808,11
14-000-171-PCSD-Promo	Altium Designer – On-Demand Perpetual Commercial License: AD2017 Single Site	496 562,40	585 943,63

## РЫНОК

#### Новости с китайского рынка печатных плат

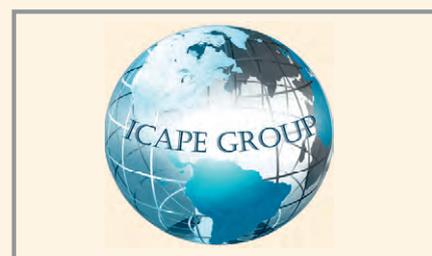
Группа компаний ICAPE, как и другие производители печатных плат (ПП), в последнее время сталкивается с рядом затруднений, таких как: регулярное повышение стоимости производства, увеличение сроков поставки материалов и дефицит некоторых специальных материалов.

Данная ситуация связана с сокращением объемов поставки медной фольги для ПП и затрагивает весь китайский рынок. Медная фольга – материал, который используется для изготовления лакированного ламината и литиевых аккумуляторов, но его объемы производства в мире ограничены (480 000 т в год против 516 000 т

спроса). В то же время, литиевые аккумуляторы, в которых тоже используется медь, с каждым годом приобретают всё большую популярность (ожидается, что к 2018 г. спрос на них увеличится на 200–300%). Как следствие, медной фольги не хватает для производства ПП.

Группа компаний ICAPE нашла решение этой проблемы. Объёмы закупок ICAPE в Китае, а также компенсирующий потери курс китайского юаня к доллару, позволяет ICAPE успешно вести переговоры с поставщиками, договариваться о снижении стоимости производства ПП и наилучшим образом отстаивать интересы своих клиентов.

Всё, что актуально для ПП, относится и к линии продукции SIPEM – заказным



техническим деталям, таким как кабельные сборки, разъёмы, катушки, трансформаторы, LCD-дисплеи, клавиатуры, металлические и пластиковые детали. Они производятся по спецификациям клиентов с тем же контролем качества и сроками выполнения заказов, а также с согласованием стоимости.

[order@icaperussia.com](mailto:order@icaperussia.com)

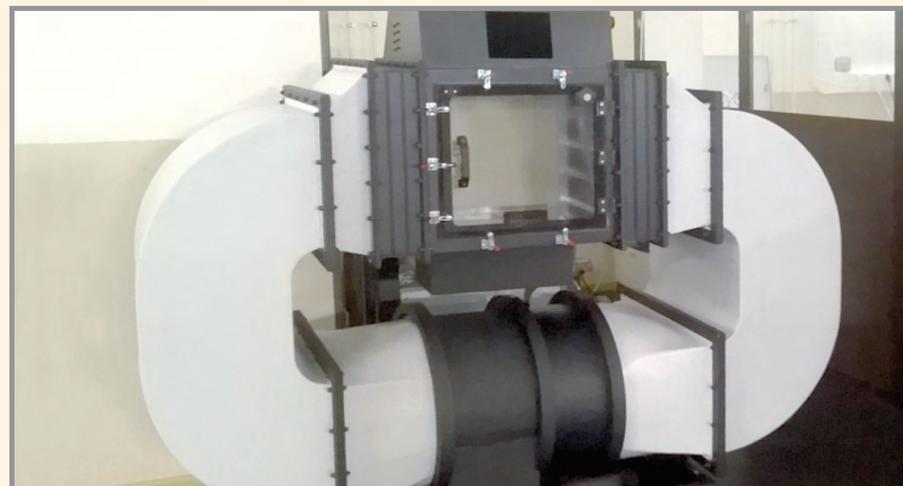
Тел.: (495) 668-11-33

## ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

#### Установка «Статическая и динамическая пыль (песок)»

АО «Тестприбор» приобрело и вводит в эксплуатацию в 1 квартале 2017 г. современную установку для испытаний на воздействии «статической и динамической пыли

(песка)» на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.39.304, ГОСТ РВ 20.57.306, «Мороз-6», КТ-160G/DO-160G раздел 12 в соответствии с методами испытаний по ГОСТ РВ 20.57.416.



Испытания проводят для определения устойчивости изделий к воздействию пыли, то есть сохранение работоспособности изделия в условиях и после воздействия повышенной концентрации пыли (песка).

Предусмотрены два основных метода испытаний на воздействие пыли:

- воздействие статической пыли;
- воздействие динамической пыли.

Таким образом, компания расширяет свои возможности по проведению испытаний аппаратуры на устойчивость к внешним воздействующим факторам.

Рабочий объём камеры составляет около 1 м<sup>3</sup>.

АО «Тестприбор» предоставляет возможность проводить эти испытания на современном оборудовании в Москве и приглашает к сотрудничеству новых партнёров.

[www.test-expert.ru](http://www.test-expert.ru)

Тел.: (495) 657-8737

## Новости российского рынка

### ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

#### Новое будущее Интернета вещей: модули COM Express Type10 на Intel Apollo Lake

Компания «РТСофт» и международный холдинг Kontron AG представляют новую серию компактных компьютеров-на-модуле формата COM Express mini на базе 14-нм процессоров Intel Atom, Celeron и Pentium следующего поколения (ранее известную под названием Apollo Lake).

Диапазон производительности новых компьютеров-на-модуле COMe-mAL10 довольно широк и охватывает всю серию новейших встраиваемых процессоров Intel, готовых к использованию в рамках Интернета вещей (IoT): от Atom E3900 и Celeron N3350 до Pentium N4200.

Модули COMe-mAL10 поставляются как в двухъядерной, так и четырёхъядерной конфигурации.

Компьютеры-на-модуле COMe-mAL10 сочетают в себе современные графические технологии с высокой производительностью в энергоэффективном формфакторе COM Express mini Type10. Пользователи новых модулей получают преимущество в виде значительного прироста вычислительной мощности, впечатляющей производительности в расчёте на ватт и длительного жизненного цикла изделия, характерного для всех встраиваемых решений Kontron.

Технология Intel Time Coordinated Computing Technology, разработанная специально для Интернета вещей и интегрированная в модули, координирует и синхронизирует процессоры в сети IoT в пределах миллисекунды. Это не только повышает надёжность, но и обеспечивает возможность работы в инновационных приложениях с более высоким уровнем требований.

Типовые области применения новых мини-модулей COM Express – это мобильные портативные устройства, блоки управления и информационно-развлекательные системы на транспорте. Мощные и при этом крайне миниатюрные модули найдут применение в средствах диагностической визуализации в медицине, приборах наблюдения и устройствах безопасности, на промышленных предприятиях, в шлюзах для Интернета вещей, а также в иных решениях.

Кроме того, версии модулей промышленного класса, предназначенные для эксплуатации в диапазоне температур  $-40...+85^{\circ}\text{C}$ , оснащённые модулем памяти с поддержкой ECC и рассчитанные на длительную эксплу-

атацию в течение нескольких десятилетий, удовлетворяют жёстким требованиям приложений в системах безопасности и транспортных средств.

Применяя COMe-mAL10 в своих проектах, разработчики могут воспользоваться всеми преимуществами обширной экосистемы x86-архитектуры и ведущего мирового встраиваемого стандарта COM Express. При помощи нового модуля можно осуществить модернизацию существующих систем без необходимости замены платы-носителя или прикладного программного обеспечения. Кроме того, клиенты могут воспользоваться услугами компании «РТСофт» по разработке программных и аппаратных средств, чтобы более оперативно, бюджетно и эффективно создавать свои конечные системы.

Дополнительным преимуществом для разработчиков является интегрированное в модулях встраиваемое аппаратно-программное решение для обеспечения безопасности Security Solution Approtect.

Новое семейство компьютеров-на-модуле COMe-mAL10 стандарта COM Express (55 × 84 мм) с распиновкой десятого типа работает под управлением процессоров Intel Atom серии E3900 или процессоров Intel Pentium N4200 и Intel Celeron N3350.

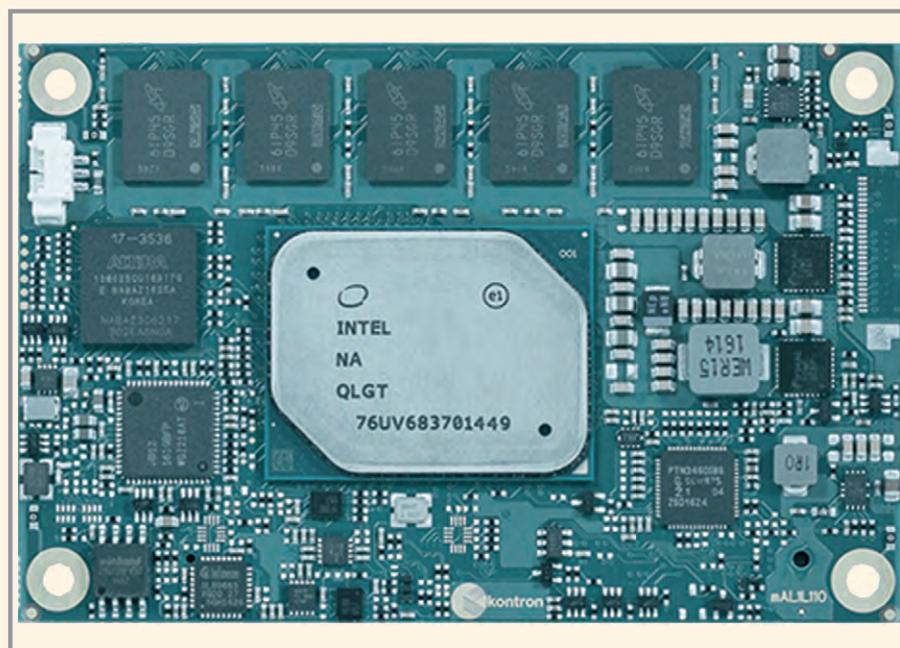
Продуктовая линейка модуля COMe-mAL10 включает в себя широкий спектр конфигураций (на базе пяти различных типов процессоров). Заказчикам предлагаются самые различные версии модулей: от бюджетной модели с двухъядерным процессором Intel Celeron (с тактовой частотой 2,3 ГГц и мощностью тепловы-

деления 6 Вт), оптимизированной для энергочувствительных приложений, до оригинальных четырёхъядерных версий с процессором Intel Atom ( $4 \times 1,6/2,0$  ГГц с тепловыделением 13 Вт) и Intel Pentium ( $4 \times 1,1/2,5$  ГГц с тепловыделением 10 Вт), предназначенных для работы с приложениями высшего класса.

Новый графический контроллер Intel Gen 9 HD с низким энергопотреблением, интегрированный в однокристалльную систему и включающий в себя до 18 функциональных модулей, обеспечивает алгоритмы кодирования/декодирования 4K с поддержкой HEVC, H.264 и VP8/VP9. Модуль COMe-mAL10 поддерживает два независимых дисплея:  $1 \times \text{DP}++$  (DP/HDMI/DVI)  $4096 \times 2160$  при частоте 60 Гц и одну одноканальную низковольтную систему дифференциальной передачи сигналов (LVDS) с DPtoLVDS (eDP – по запросу)  $3840 \times 2160$  при частоте 30 Гц. Модули поставляются с опциями хранения для двух интерфейсов SATA II 300 Мбит/с или же с дополнительным модулем памяти EMMC (до 128 Гбайт). Помимо двух последовательных портов они содержат сверхбыстрые интерфейсы USB 3.0, до восьми портов USB 2.0, гигабитный Ethernet, а также четыре дорожки PCI Express Gen2 для индивидуальных расширений пользователей. Поставляемые модули COMe-mAL10 совместимы с ОС Windows 10, Windows 10 IoT, Linux и VxWorks 7.0.

Дополнительную информацию о COMe-mAL10 можно найти на сайте холдинга Kontron, а также в офисах компании «РТСофт», стратегического партнёра холдинга Kontron в России и странах СНГ.

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



## Новости российского рынка

### Импортозамещение в сфере тестирования радиоэлектроники на базе отечественных приборов в стандарте AXIe

В 2017 г. Холдинг «Информтест» выводит на рынок новейшие автоматизированные системы тестирования (в том числе – комплексы НАСК), построенные на наиболее перспективном и современном открытом стандарте – AXIe. Это стало возможным благодаря активным работам по освоению данного стандарта и множества собственных разработок оборудования AXIe для решения большинства задач, стоящих перед заказчиками на данный момент. «Информтест» является крупнейшим российским производителем модульных приборов в открытых международных стандартах AXIe, VXI, LXI.

Автоматизированные системы тестирования (ATE), построенные по модульному принципу, наиболее широко исполь-

зуются на предприятиях-изготовителях авиационной и космической техники. Комплексы ATE AXIe отечественного производства позволят успешно конкурировать по качеству и цене с измерительным оборудованием и ATE западного производства таких производителей, как National Instruments, Tektronix, Keysight Technologies, Rohde&Schwarz, Aeroflex и др.

Номенклатура оборудования холдинга «Информтест» в стандарте AXIe представляет более 120 типов приборов различного назначения, благодаря применению мезонинной технологии.

Также новинкой рынка является 6-слодовый моноблок для установки различных модульных приборов в стандарте AXIe.



Таким образом, пользователи могут с лёгкостью создавать измерительные комплексы и комбинировать различные модульные инструменты в одном приборе с удобным управлением через 10-дюймовый сенсорный экран.

[www.informtest.ru](http://www.informtest.ru)  
Тел.: (495) 983-1073

### Калибраторы термопар и термосопротивлений

Японская компания Yokogawa выпускает все необходимые приборы для калибровки и проверки термопар и термосопротивлений в полевых условиях.

CA320 – это калибратор термопар, который поддерживает 16 типов термопар различных стандартов (JIS/IEC/DIN/ASTM/GOST R) и в качестве термометра может измерять выходные сигналы термопары. Калибратор можно использовать и с другими типами термопар с помощью функции источника милливольт. Базовая погрешность измерений составляет 0,5°C, включая внутреннюю компенсацию температуры холодного спая.

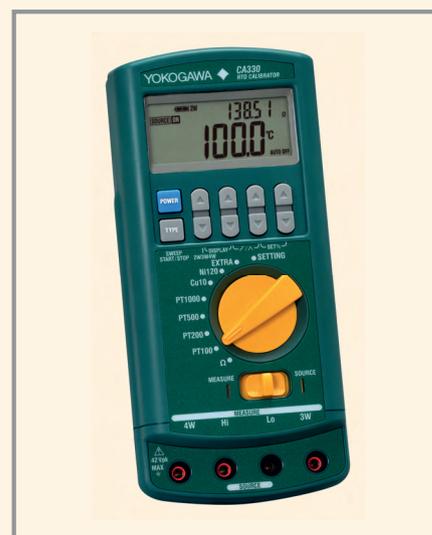
CA330 – это калибратор термосопротивлений (поддержка 14 видов стандар-

тов JIS/IEC/GOST R), он измеряет и генерирует сигналы от них, а также измеряет выходное сопротивление, т.е. имитирует термометр. Базовая погрешность составляет 0,3°C. Приборы поддерживают двух-, трёх- и четырёхпроводные конфигурации.

Оба прибора поддерживают различные типы сигналов источника: автоступенчатый / линейная развёртка / ступенчатый / перепад. Суб-дисплей используется для вывода дополнительной информации: выходной сигнал термопары (мВ) или сопротивления (Ом), % интервала, температура холодного спая.

[info@platan.ru](mailto:info@platan.ru)

Тел.: (495) 970-0099



### Генераторы сигналов Stanford Research Systems Inc. серий SG380 и SG390

Американская корпорация Stanford Research Systems Inc. (США), разработчик и производитель инновационного контрольно-измерительного оборудования нового поколения для научных исследований и промышленного производства, представляет генераторы серий SG380 и SG390.

Генераторы серий SG380, SG390 предназначены для воспроизведения сигналов высокочастотных колебаний с различными видами модуляции (аналоговой, частотной, фазовой, импульсной, амплитудной, векторной) из внешних и внутренних источников.

Генераторы серий SG380, SG390 используют уникальную, инновационную архитектуру, основанную на технологии частотного синтеза с импульсно-фазовой

автоподстройкой частоты и рациональной аппроксимацией, которая обеспечивает ультравысокое разрешение по частоте при низком уровне фазовых шумов и помех.

Стандартный диапазон частот в моделях SG384, SG386 может быть расширен вверх с опцией удвоителя частоты (опция 2). Опционально в этих моделях также могут быть установлены дифференциальные выходы импульсов синхронизации.

Управление генераторами осуществляется с передней панели либо дистанционно – через интерфейс LAN (Ethernet), GPIB, RS-232.

Основные характеристики:

- диапазон частот от 0 до 6,075 ГГц или до 8,1 ГГц (модели SG384, SG386 с опцией 2);
- разрешение по частоте 1 мкГц;



- частота опорного кварцевого генератора 10 МГц;
- пределы относительной погрешности частоты опорного генератора с рубидиевым источником  $\pm 1 \times 10^{-10}$ .

Подробное описание можно посмотреть на сайте ООО «Интермера» – официального партнёра Stanford Research Systems Inc. в России.

[www.intermera.ru](http://www.intermera.ru)  
Тел.: (495) 941-0434

## Новости российского рынка

### ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

#### Компактное высоковольтное поляризованное реле от Gigavac

Компания Gigavac начинает осваивать серийный выпуск компактного поляризованного высокочастотного реле G40P на напряжение до 10 кВ и ток до 50 А.

В настоящее время уже имеется возможность получить опытные образцы для тестирования в составе изделия.

За подробной информацией можно обратиться к официальному представителю и дистрибьютору компании Gigavac в России – ЗАО «АСС».

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

Тел.: (495) 925-5012



#### Базовый структурный кристалл для создания радиационно-стойких аналоговых микросхем

Для создания многоканальных радиационно-стойких аналоговых микросхем разработан базовый структурный кристалл (БСК) МН2ХА010, который содержит аналоговые компоненты и несоединённые элементы. Производство полузаказных микросхем осуществляется путём формирования на предприятии-изготовителе межсоединений ранее сформированных компонентов и элементов.

БСК содержит следующие компоненты:

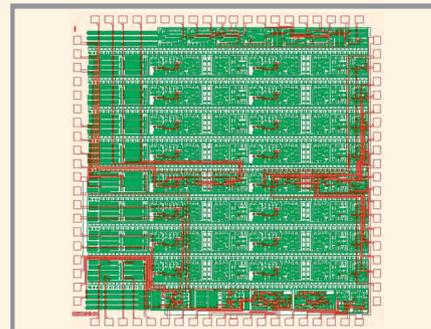
- сдвоенный повторитель напряжения входной (8 шт.) с головным р-ПТП, типовое значение входного тока – 20 пА;
- повторитель напряжения маломощный (16 шт.);
- источник тока, управляемый напряжением (16 шт.), который, совместно с повторителем напряжения, образует операционный усилитель с напряжением смещения нуля 5 мВ; входным

током 10 мкА, коэффициентом усиления напряжения 60 дБ, полосой пропускания при десятикратном усилении 20 МГц;

- усилитель зарядочувствительный (2 шт.) с максимальным коэффициентом преобразования 1 В/пКл;
- компаратор (2 шт.) с входным током 5 мкА, чувствительностью 10 мВ, задержкой распространения 5 нс;
- источник опорного напряжения 1,22 В (3 шт.);
- стабилизатор напряжения  $\pm 3$  В (2 шт.);
- датчик температуры с температурным коэффициентом 2,0 мкА/°С.

Всего на БСК имеется 2056 несоединённых резисторов, 784 конденсатора, 56 транзисторов, 6 защитных диодов и 80 контактных площадок.

На БСК разработаны следующие полузаказные микросхемы:



- МН2ХА010-02 – четырёхканальный трансимпедансный усилитель с коэффициентом преобразования 240 мВ/нА;
- МН2ХА010-03 – четырёхканальный усилитель напряжения с коэффициентом усиления напряжения 2500;
- МН2ХА010-04 – двухканальный аналоговый интерфейс пьезоэлектрического датчика с коэффициентом преобразования от 2 до 25 В/пКл.

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

Тел.: +375 (29) 616-4587

#### Bulgin предлагает широкий выбор новых разъёмов для промышленной автоматизации

Разработанные для сокращения времени простоя и повышения эффективности производства разъёмы семейства М обеспечивают надёжную и помехоустойчивую передачу данных и сигналов, а также подачу питания для систем промышленной автоматизации в суровых условиях.

Разъёмы оснащены резьбовой фиксирующей гайкой М-стиля. Семейство подразумевает большой выбор решений, имеет различные типоразмеры и исполнения и вклю-

чает в себя серии М5, М8, М12, М16 и М23. А-, В- и D-кодировки разъёмов доступны для всех серий семейства разъёмов М. Все разъёмы имеют степень защиты IP67. Продуктовый ряд включает в себя блочные розетки, легко монтируемые ответные кабельные части и варианты кабельных сборок с оболочками из ПВХ/полиуретана. Корпуса выполнены из термопластика и металла, возможно EMI-исполнение.

Также доступны готовые пассивные распределительные коробки с гнездами М12/М8 в герметичном исполнении, что сокращает время монтажа разъёмов.

Разъёмы Bulgin семейства М идеально подходят для обеспечения последовательного и надёжного подключения приводов, датчиков и Ethernet-соединений.

Подробную информацию по новинкам можно получить у специалистов подразделения ПРОЧИП.

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

Тел.: (495) 234-0640

#### The M-Series is here

M5 | M8 | M12 | M16 | M23



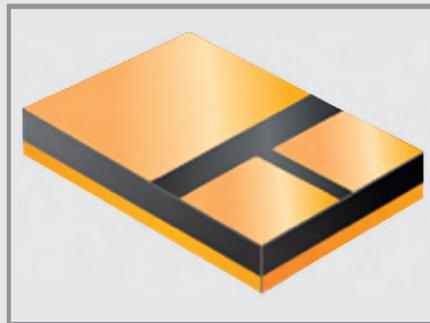
## Радиационно-стойкие 250-вольтовые N-канальные транзисторы MOSFET в корпусе SMD-0.2

Подразделение компании Infineon Technologies Company – International Rectifier HiRel Products – приступило к производству радиационно-стойких (RAD-Hard™) N-канальных транзисторов MOSFET IRHLNM7S7214 с максимальным рабочим напряжением 250 В, выполненных в корпусе SMD-0.2 по технологии R7. Логический уровень управления затвором обеспечивает простое сопряжение схем управления с логикой ТТЛ и КМОП в силовой электронике космической аппаратуры и другой аппаратуры, применяемой в условиях воздействия радиации. Пороговое напряжение сохраняет своё значение в пределах допустимых пределов во всём диапазоне рабочих температур. Гарантируется отсутствие дозовых эффектов при накопленной дозе радиации до 100 крад и стойкость к воздействию заряженных частиц с линейными потерями энергии до 60 МэВ·см<sup>2</sup>/мг. Доступна также модель MOSFET IRHLNM7S3214 со стойкостью к накопленной дозе радиации 300 крад (Si). Выпускаются также модели IRHLNMC7S7214 и IRHLNMC7S3214 с крышками, выполненными из керамики.

Предлагаемые транзисторы являются идеальными для обеспечения непосредственного сопряжения с большей частью логических вентилях, линейных микросхем, микроконтроллеров и других типов устройств, требующих для питания уровни напряжения от 3,3 до 5 В. Возможно также использование транзисторов для увеличения выходного тока микросхем ШИМ-контроллеров, компараторов напряжения или операционных усилителей, когда доступны логические уровни управляющих сигналов.

Учитывая повышенный спрос на радиационно-стойкие транзисторы с логическим уровнем управления семейства R7 у российских разработчиков силовой электроники для аппаратуры космических аппаратов, компания International Rectifier HiRel Products включила этот тип приборов в перечень S60 (60 указывает на чувствительность к одиночным эффектам при воздействии ТЗЧ с линейными потерями энергии 60 МэВ·см<sup>2</sup>/мг) радиационно-стойких компонентов, поставка которых в Россию возможна без оформления лицензий в государственных ведомствах США, ответственных за регулирование экспорта технологий

и продукции военного назначения (экспорт этих компонентов осуществляется на основании Правил экспортного регулирования EAR99).



Технические параметры радиационно-стойких транзисторов MOSFET семейства R7 серии IRHLNM7S7214:

- $V_{DS} - 250 \text{ В};$
- $R_{DSon} - 1,1 \text{ Ом};$
- $Q_G - 13 \text{ нКл};$
- $I_D @ 25^\circ\text{C} - 3,2 \text{ А};$
- $V_{GSmax} - \pm 10 \text{ В}.$

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

## ЦНИИ «Электроника» предложил инструментарий контроля инновационной деятельности

Специалисты ЦНИИ «Электроника» разработали экономико-математический инструментарий комплексного проектного контроля эффективности инновационной деятельности компаний радиоэлектронной промышленности.

В условиях ускоренного инновационного развития и нестабильности внешней среды создание эффективной системы контроля становится одним из наиболее мощных инструментов управления компаниями радиоэлектронной промышленности. Такая система должна объединять в себе процедуры планирования, учёта и анализа с возможностью получения обратной связи, что необходимо для обеспечения стабильности бизнеса, своевременного внедрения инноваций, а также выявления и задействования имеющихся внутренних резервов.

Одним из популярных подходов к оценке инновационной деятельности является горизонтальный (проектный) контроль. Такой метод предполагает определение и анализ несоответствий фактических показателей от запланированных, прогнозирование будущего развития, а также формирование рекомендаций для управленческого персонала. Горизонтальный контроль позволяет на каждом этапе

реализации проекта в качестве обратной связи формировать исправляющие реакции на негативные отклонения от плановых показателей.

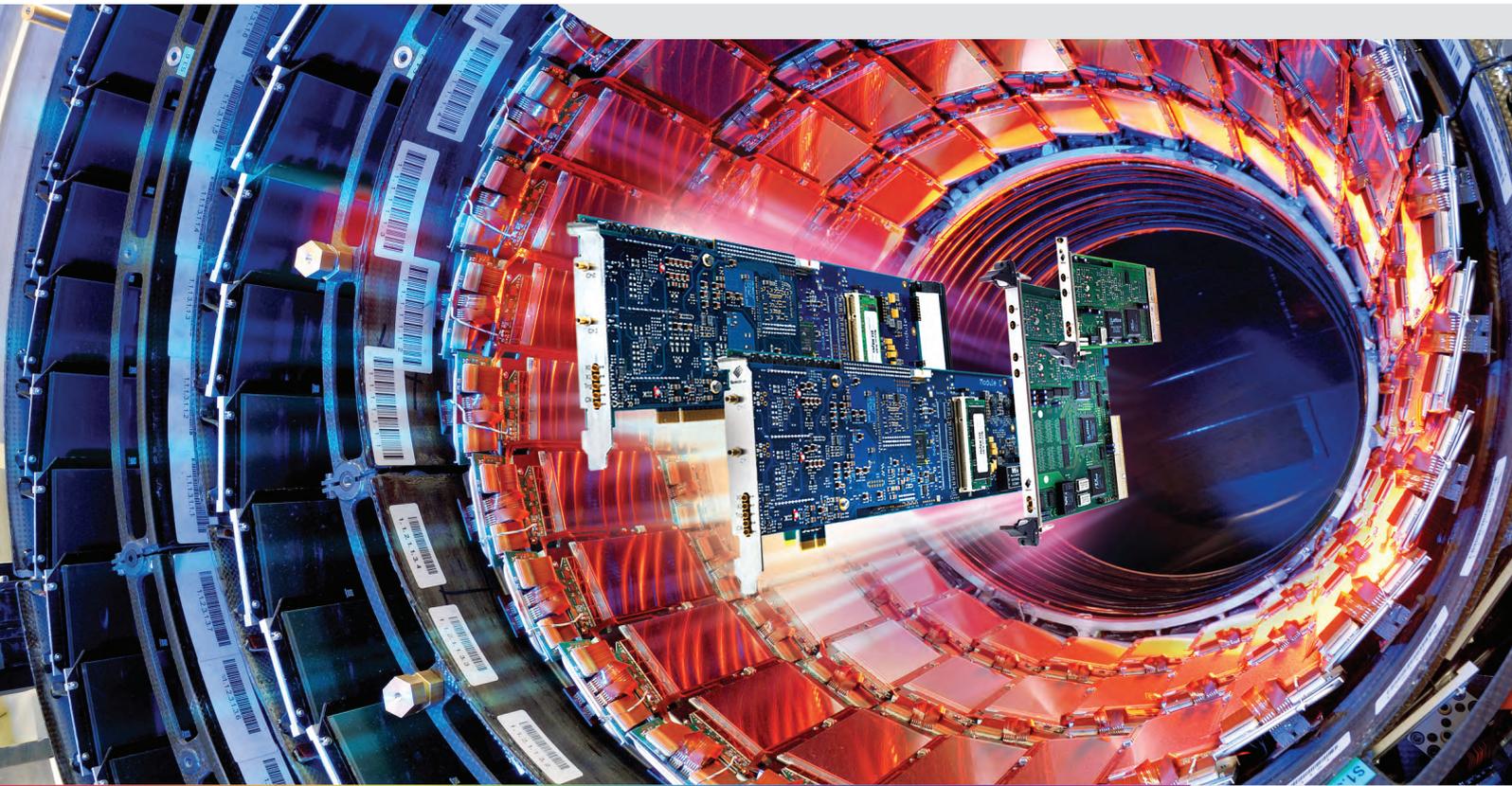
По статистике с соблюдением первоначально установленных сроков реализуется менее половины долгосрочных инновационных проектов. Причинами возможных отклонений могут выступать изменения условий финансирования, нарушения договорённости с партнёрами и подрядчиками, технические затруднения и прочие факторы.

Специалисты ЦНИИ «Электроника» убеждены, что для оценки инновационной деятельности компании радиоэлектронной промышленности необходимо использовать комплексный подход, сочетающий применение как качественных, выведенных на основе экспертного мнения, так и количественных оценок, полученных методами математического моделирования. Для анализа эффективности каждого инновационного проекта предлагается использовать метод дискретно-нелинейной свёртки, который применяется к выбранным группам экономических показателей. Данный подход подходит для проведения как горизонтального, так и функционально-операционного контроля.

Оценку затрат по инновационному проекту целесообразно проводить на основании метода освоенного объёма, в котором плановые затраты и объём использованного ресурса соотносятся с его общим объёмом. Такой подход имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами. Прежде всего, он предоставляет возможность осуществлять раннее выявление отклонений фактических показателей от плановых. Для компаний со сложной организационной структурой оценка затрат осложняется необходимостью учёта деятельности каждого её подразделения, которые рассматриваются как центры ответственности.

Для выявления причин появления отклонений от целевых параметров целесообразно использовать показатель экономической добавленной стоимости (Economic Value Added, EVA), который позволяет оценить эффективность инновационной деятельности компании. Для прогнозирования её будущих доходов рекомендуется применять модель Эдвардса-Белла-Ольсона (Edwards-Bell-Ohlson, EBO), которая также основана на теории добавленной стоимости.

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



## Для широкого спектра решений по сбору данных и генерации сигналов

### PCI/PCI-X и PCI Express

- Свыше 200 моделей плат
- До 16 синхронных каналов
- Разрешение от 8 до 16 бит
- Частота опроса до 5 ГГц
- Встроенная память до 4 Гбайт
- Тактирование и многомодульная синхронизация

### 6U CompactPCI

- Около 80 вариантов модулей
- До 16 каналов
- Разрешение до 16 бит
- Частота опроса до 500 МГц

### 3U PXI

- Более 45 моделей
- Соответствие стандарту PXI
- Межмодульная синхронизация
- Тактирование 10 МГц
- Память до 512 Мбайт

### Программное обеспечение



- Собственное ПО SBench 6
- Поддержка ОС Windows, Linux
- Разработка систем сбора и записи данных по ТЗ заказчика
- Индивидуальное консультирование по выбору оборудования для конкретных применений

### LXI-системы сбора сигналов



- Более 60 моделей
- Соответствие стандарту LXI
- Число каналов 2–48
- Частота опроса до 500 МГц
- Разрешение от 8 до 16 бит
- Полоса частот от 100 кГц до 250 МГц



### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ SPECTRUM

<b>МОСКВА</b>	Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>С.-ПЕТЕРБУРГ</b>	Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>АЛМА-АТА</b>	Тел.: (727) 220-7140/7141 • sales@kz.prosoft.ru • www.prosoft-kz.com
<b>ВОЛГОГРАД</b>	Тел.: (8442) 260-048 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ЕКАТЕРИНБУРГ</b>	Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru
<b>КАЗАНЬ</b>	Тел.: (843) 203-6020 • Факс: (843) 203-6020 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>КРАСНОДАР</b>	Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>Н. НОВГОРОД</b>	Тел.: (831) 215-4084 • nnovgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>НОВОСИБИРСК</b>	Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ОМСК</b>	Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ПЕНЗА</b>	Тел.: (8412) 494-971 • Факс: (8412) 494-971 • penza@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>САМАРА</b>	Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>УФА</b>	Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ЧЕЛЯБИНСК</b>	Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru

# Терагерцовая тепловольтаика на основе монокристаллов LPE i-GaAs (SiO) Часть 2

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

В первой части настоящей статьи (см. журнал «Современная электроника» №3, 2017) было показано, что терагерцовая среда для человека – это то же самое, что воздух, вода, пища, солнечный свет, земля или, другими словами, это – важнейшая составляющая биосреды обитания человека. Следует осознать, что терагерцовая среда существует с древнейших времен. Необходимо понимать терагерцовую биоэнергетику хотя бы на уровне теории Пойнтинга или на модах Блоха. С целью познания, влияния, управления терагерцовой энергетикой сегодня нужны доступные, сверхкомпактные, «не криогенные», высокочувствительные метрологические инструменты. Опыт полупроводниковой (зонной) микроболометрии создания приборов ночного видения показывает, что нужны абсолютно новые материалы, новая физика, новый дизайн, новая технология. Наша очередная, пока, естественно, на доступном, тривиальном уровне (с учётом готовности читательской среды), публикация (а именно, вторая часть статьи) и посвящена этому важному для научного сообщества вопросу.

## Некоторые вопросы, связанные с электромагнитным излучением человека

1. Гипноз, аутотренинг, предвидение, физиология, биоэнергия. По данным вопросам можно многое почерпнуть из публикаций в рамках осуществлявшейся в советское время программы работ по исследованию физических полей биообъектов в ИРЭ РАН [4, 5].
2. Специфика осязания растительным миром намерений человека достаточно объёмно рассмотрена в работе [8], где продемонстрированы уникальные эксперименты «считывания» мыслей человека растительной средой на основе электромагнитной регистрации энергообмена.
3. Исходя из факта резонансного поглощения электромагнитной энергии на частотах 18...19 ГГц (молекула воды), 60 ГГц (атомы кислорода) и ряда других частот терадиапазона, особенно на «чёрной» частоте ( $\lambda = 10$  мкм) человеческого абсолютного поглощения ИК-волн, можно с полной уверенностью говорить о том, что пора прекратить небезвредную практику терапии человека с использованием частиц с энергиями в сотни кэВ и даже МэВ, и перейти на мягкие человеческие энергии от 0,1 эВ и менее.

Напомним, что человеческий организм, состоящий на 3/4 из молекул воды (биоклетки), исключительно чувствителен к квантам с энергией уже от 1,22 эВ (электролиз воды). При энергии 6 эВ начинается электронное «газирование» воды, а при  $E > 12,3$  эВ происходит полная катастрофа, когда молекула воды распадается на атомы водорода и кислорода («гремучий газ»). Отсюда следует логическое заключение, что при многократной чистке крови лазерным излучением уже с видимого диапазона частот человек рискует получить лейкемию. Следует отметить, что РАН в 2002 г. приняла Программу «Фундаментальные науки – медицине».

4. Академик, д.т.н., профессор И.В. Гуляев и д.т.н., профессор Э.Э. Годик наглядно показали разницу «художественного» электромагнитного образа человека в отражённых видимых лучах оптического света (то, что мы фиксируем на цветных фотографиях, слайдах, видеоклипах и т.д.) и абсолютно своеобразного, специфического, строго индивидуального, невидимого ИК-образа человеческой личности в его собственных лучах. При этом следует понимать, что комплексный пакет излучения человека является уникальной возможностью

«рассмотреть и прочитать» личность в ИК-излучении с учётом: национальной или расовой принадлежности, геомагнитной специфики местности (среды) обитания, ИК-энергетики потребляемой пищи как органического происхождения (рис, хлеб, животные продукты, цитрусовые, сухофрукты и др.), так и минерального происхождения (микроэлементы, поступающие с водой, субнано-кластерное геостроение молекулярных соединений воды, минералы из фруктов, мяса, дисперсных частиц воздуха и т.д.). Следовательно, каждый человек, как индивидуальный объект, имеет только своё, уникальное ИК-изображение, которое является неповторимым в природе. Это и обеспечивает 100-процентную эффективность ИК-образа в методах идентификации личности, в новейшем банкинге или методах борьбы с терроризмом. Неизбежно через два-три десятка лет появится новый «био-паспорт» человека на основе индивидуального ИК-излучения, который будет содержать абсолютно все данные, необходимые для его идентификации и разумной интеграции в сообщество. При изменении параметров биосреды электромагнитное излучение человека останется строго индивидуальным.

## Тепловольтаика на основе излучения человеческого тела (мини-ТЭЦ, дизайн-модели)

Предлагаемые нами новые модели неохлаждаемых длинноволновых ИК-фотоприёмников и тепловольтаики основаны на использовании гетеростем, планируемых к созданию на материнской платформе в виде LPE i-GaAs (SiO) монокристаллов.

Моделирование новых ИК-приёмников и тепловольтаики связано с эксплуатацией ряда физических явлений, часть которых является классическими явлениями, т.е. общепринятыми в электродинамике, зонной теории прово-

димости, а другая часть представляет собой новые физические принципы работы, которые представлены авторами в ряде предшествующих публикаций в журнале «Современная электроника», а именно:

- механизм поглощения ИК-фотонов (на колебаниях решётки, на свободных носителях заряда, амфотерно-примесном поглощении, прямоходной зона/зона поглощения);
- максвелловское сшивание двух гетеросред, когда  $\epsilon_1 \epsilon_0 E_1 = \epsilon_2 \epsilon_0 E_2$  ( $\epsilon \epsilon_0 E = \mu \mu_0 H$ );
- явление полевого туннелирования носителей заряда на границе гетеросред;
- термоэмиссионная модель переноса заряда в гетеросистеме полупроводник–металл;
- явление разогрева энергетических зон двух твердотельных гетеросред с различным сродством к электрону;
- явление твердовакуумного квантовоточечного обеднения или аккумуляция энергии в кристалле под воздействием внешнего частотно-полевого возбуждения;
- физические явления, связанные с возникновением энергозон в запрещен-

ной зоне LPE i-GaAs (SiO) монокристалла, легированного амфотерной примесью, или явления «зоны в зоне» (мультизонность).

В целом, физические способы приёма и преобразования длинноволновых ИК-волн вплоть до  $\lambda = 12$  мкм можно разделить на две группы:

- мультизонную (полупроводниковую);
- релятивистскую (твёрдовакуумную). Уникальные свойства и новые физические явления, проявляющиеся в кристаллах LPE i-GaAs (SiO) и гетеросистемах на их основе:
- диодный аналог транзисторного усилителя (эффект суперинжекции Ж.И. Алфёрова);
- подвижность электронов, сравнимая с антимонидом индия (InSb), и филаментарная плотность тока в транзисторах «два в одном» на порядок выше, чем в таких металлах, как Au, Ag, Cu;
- ДОС на участке прямой ВАХ, релятивистско-зонный вентиль;
- невозможность описания и моделирования свободных носителей заряда посредством уравнения Шрёдингера;

- встроенно-экситонные стационарные квазиуровни Ферми;
- несовместимость с классическим законом действующих масс;
- ярко выраженные явления отклонения (на два-три порядка) от классических уровней энергий ионизации элементов IV гр. таблицы Д.И. Менделеева в GaAs;
- эффект сверхполевого туннелирования;
- эффект резонансно-параметрического усиления СВЧ- и ТГц-волн в диэлектрике LPE i-GaAs и, в конечном счёте, ожидаемый эффект «поляризационной катастрофы» (вырождение оптической запрещённой зоны GaAs в кТ-щель);

Всё это в более или менее доступной форме (кроме эффекта «поляризационной катастрофы») было описано на страницах журнала «Современная электроника» [1, 2, 9], представлено на НТС в «Микроне» (февраль 2014 г.), показано в презентациях в АО «Интеграл», НАН Беларуси (сентябрь 2016 г.), Ульяновского государственного технического университета и Ульяновского филиала Агентства стратегических инициатив



**Fastwel**

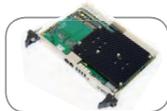
Российская электроника  
для ответственных  
применений

**CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial**

**Скорость и надежность современных технологий**





CPC503



CPC508



CPC510



CPC512

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ FASTWEL**



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



Реклама

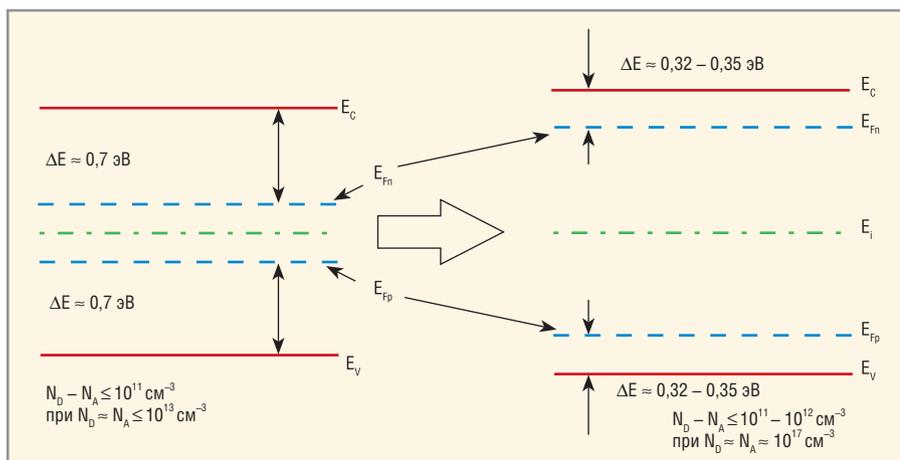


Рис. 6. Изменение «экситонных» квазиуровней Ферми в зависимости от уровня легирования амфотерной примесью LPE i-GaAs монокристалла («зоны в зоне»)

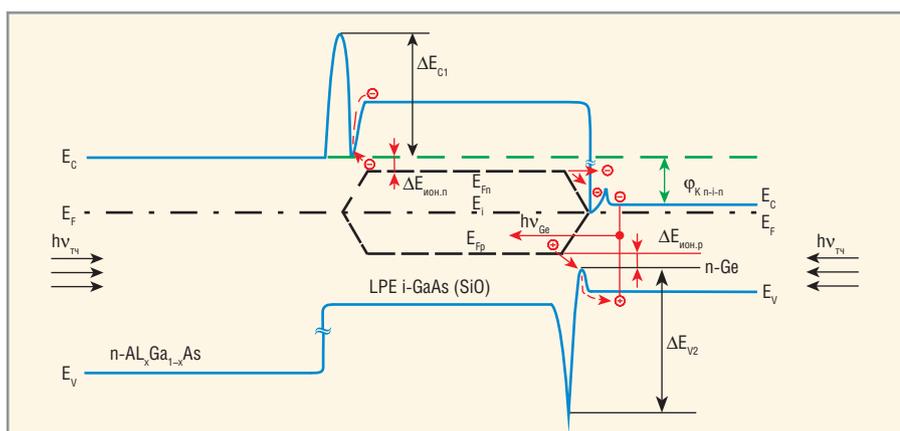


Рис. 7. Зонный профиль комбинированных двух встречно включённых изотипных n-i и i-n гетеропереходов AlGaAs-GaAs и GaAs-Ge (двойной разрыв зон в динамике с  $h\nu_{ге}$ -электролюминесценцией германиевой решётки)

(ноябрь 2016 г.), а также на промежуточных технических совещаниях АФК, РТИ, МИЭТ (Москва), АО «Авангард» (Санкт-Петербург), ОАО «ОКБ-Планета» (г. Великий Новгород), МФТИ (г. Долгопрудный), СКФУ (г. Ставрополь), ФПИ (Москва) и др.

В данном разделе целесообразно остановиться на фактически базовом физическом явлении «зоны в зоне», когда в оптическую запрещённую зону GaAs (1,42 эВ) встраиваются две абсолютно равноценные ИК запрещённые энергосзоны с изменением энергии от величины собственного химического потенциала до минимизации энергии ионизации амфотерной примеси относительно соответствующих краёв оптической запрещённой зоны GaAs.

Ещё раз подчеркнём, что явление «зоны в зоне» базируется на инвертировании i-типа проводимости (изолятор) в n- или p-тип, в зависимости от условий термодинамики в LPE-процессе рекристаллизации GaAs при легировании монокристалла амфотерными

примесью четвёртой группы таблицы Д.И. Менделеева, Si и Ge [9, 10]. Сущность явления, описанного в [10], основана на взаимодействии энергии амфотерного атома в подрешётках Ga и As и монотонного уменьшения энергии ионизации амфотерных атомов в донорных узлах (подрешётка Ga) и акцепторных узлах (подрешётка As) кристаллической решётки GaAs вплоть до «комнатной», т.е. терагерцовой кТ-ионизации с переходом равенства количества амфотерных атомов акцепторного типа и донорного типа в подрешётках Ga (донор) и As (акцептор) в пределах концентраций  $N_A \approx N_D$  от  $\sqrt{2,41} \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$  в неравенство  $\frac{N_D}{N_A} > 1$  (при  $N_D = N_A \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) (n-тип проводимости). Таким образом, в LPE-процессе при насыщении амфотерной примесью решётки GaAs свыше  $(1...3) \times 10^{17}$  происходит инвертирование типа проводимости. В результате мы можем получить дисперсию энергии ионизации амфотерной примеси в широких пределах от 0,7 эВ ( $\approx 1,65 \text{ мкм}$ , ИК-диапазон, прак-

тически как у Ge или GaSb) до уровня «криогенных» ИК-приёмников на основе InSb и InAs (3...5 мкм, средний ИК-диапазон) и CdHgTe (8...12 мкм, дальний ИК-диапазон).

В итоге, открываются очень неплохие возможности для создания ИК-устройств ночного и теплового видения. В обоих случаях – терагерцового сверхчувствительного широкополосного приёма.

Качественная интерпретация ИК LPE i-GaAs (SiO) фотоприёмника (до 3 мкм) показана на рисунке 6.

Далее, для упрощения восприятия материала, мы предложим дизайн-модели эффективного неохлаждаемого ИК-фотоприёма «чёрных» тепловых волн человеческого тела с  $\lambda \approx 8...12 \text{ мкм}$  ( $E \approx 0,1 \text{ эВ} \pm \Delta$ ) и, конечно, тепловых миниэлектрогенераторов на основе теплового излучения человеческого тела.

Из анализа профиля энергетики сопряжённых гетеросред на базе GaAs в [11, 12] и с учётом согласования сред по ТКР, постоянной решётки, сродства к электрону, плотности нежелательных энергосостояний на границе раздела гетеросред, а также с учётом типа проводимости, для нашего модельного случая наиболее приемлемы следующие гетеросистемы:

- n-AlGaAs-i-GaAs;
- n-Ge-i-GaAs.

Рассмотрим зонную энергетику гетеросистемы, состоящей из двух встречно включённых изотипных гетеросистем n-i-n типа AlGaAs-GaAs-Ge.

Энергетическая диаграмма бинарной изотипной гетеросистемы AlGaAs-GaAs-Ge с учётом плотности состояний амфотерной примеси в запрещённой зоне представлена на рисунке 7.

На рисунке 7 показаны энергетические разрывы в зоне проводимости гетероперехода n-i AlGaAs-GaAs  $\Delta E_{c1}$  и в валентной зоне i-n гетероперехода GaAs-Ge –  $\Delta E_{v2}$ . «Встроенные» амфотерные квазиуровни Ферми  $E_{fn}$  и  $E_{fp}$  показывают уровень концентрации легирующей примеси на основе атомов Si в подрешётках Ga ( $E_{fn}$ ) и As ( $E_{fp}$ ).

Манипулируя физическими величинами (сродством к электрону  $\chi$  в решётках n-AlGaAs, i-GaAs и n-Ge, а также уровнями легирования донорной и амфотерных примесей в соответствующих подзонах комбинированной n-i-n гетеросистемы AlGaAs-GaAs-Ge), мы сможем установить уровень энергетических щелей  $\Delta E_{ион.п}$  и  $\Delta E_{ион.р}$  на уровне энергий, меньших, чем энергия кТ-квантов

человеческого тела, на их экстремальном уровне (плотности) излучения при  $kT \approx 0,1$  эВ или  $\lambda \approx 10$  мкм  $\pm 1,0$  мкм.

Контактная разность потенциалов диодной гетероизотипной системы, показанной на рисунке 7,  $\phi_{kn-i-n}$  может экспериментальным путём варьироваться в пределах 0,35...0,15 эВ. При ИК-облучении тепловыми квантами  $kT$  ( $h\nu$ ) уровня 0,1 эВ и ниже будет происходить ионизация амфотерной примеси в зоне энергоразрыва, соответствующей донорной генерации электронов с их последующим туннелированием с уровней  $E_{Fn}$  в квантовую яму энергоразрыва и дрейфом на более высокие уровни в зоне проводимости *i*-GaAs и Ge. Дрейф электронов из квантовой ямы зоны разрыва на более высокие энергетические уровни в зоне проводимости осуществляется мощным внутренним полем на границе раздела. Точно такой же процесс будет наблюдаться и при ионизации акцепторной амфотерной примеси с последующим туннельно-полевым транспортом дырок в валентную зону. Аккумуляция электронов и дырок в зоне гетероразрыва германия с GaAs вызо-

вет электролюминисценцию квантов вследствие рекомбинации зона-зона, зона-уровни с энергиями  $h\nu \leq E_{g\text{Ge}} \approx 0,69$  эВ. Этого будет достаточно для того, чтобы ионизировать акцепторные амфотерные центры в LPE *i*-GaAs. Кроме того, начнётся процесс автогенерации ИК ЭДС квантами излучения из германиевой решётки, что резко повысит эффективность такой «тепловой мини-электростанции».

Вследствие нарушения классического квазибаланса  $n \times p = n_i^2$  в условиях ИК длинноволновой внешней реакции *i*, с учётом аккумуляции неравновесных электронов в зоне *i*-GaAs и дырок в валентной зоне Ge (что эквивалентно дополнительному накоплению электронов в *i*-зоне), произойдёт разбаланс сшивания уровней Ферми в гетеросистеме AlGaAs-GaAs-Ge, который, в конечном счёте, количественно отразится в виде ИК фото-ЭДС или тепловом электрогенераторе, в принципе, менее мощного (на один-полтора порядка) аналога солнечной фото-ЭДС. Потенциал  $\phi_{kn-i-n}$  изменится на десятки и единицы сотен милливольт.

Разрыв энергосон в зоне проводимости изотипного перехода *n-i* AlGaAs-GaAs легко рассчитывается из экспериментальных результатов, представленных в [12] (см. рис. 8 и 9).

Из графиков видно, что величина  $\Delta E_{Cn}$  в системе AlGaAs-GaAs при ширине запрещённой зоны  $Al_{0,3}Ga_{0,7}As$  около 1,8 эВ достигает уровня 0,4 эВ.

В том же источнике [12] показано, что при  $T = 300$  К разрыв валентных зон в системе GaAs-Ge может достигать максимального уровня  $\Delta E_{Fp}$ , равного 0,55 эВ, что является величиной, сопоставимой с  $\Delta E_{g\text{Ge}} \approx 0,69$  эВ. Наряду с этим, важно также иметь в виду, что в системе *i*-GaAs- $n^+$ -Ge ожидается разрыв зоны проводимости  $\Delta E_{Cn}$  уровня 0,15 эВ, который может увеличиваться до уровня разрыва  $\Delta E_{Fp} = 0,55$  эВ в случае вырожденного германия ( $n^{+++} - Ge$ ), что благоприятно для генерации электронов с амфотерных донорных уровней. Таким образом, необходимы детальные исследования указанных гетеросистем с учётом того, что AlGaAs можно успешно заменить на GaP с  $E_g = 2,25$  эВ. Во всех случаях необходимо учитывать то обстоятельство, что разница постоянных решё-



**Elektro-Automatik**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ НАГРУЗКИ**  
**Для лабораторий и промышленности**

Функции:

- Испытания постоянной мощностью, током, напряжением, сопротивлением
- Запись результатов испытаний
- Рекуперация энергии до 95%



**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ELEKTRO-AUTOMATIK**



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



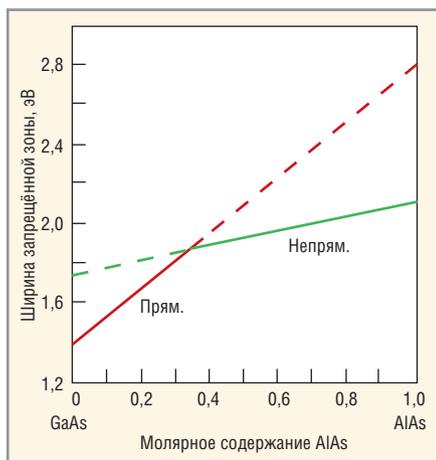


Рис. 8. Ширина энергетической зоны  $Al_xGa_{1-x}As$  и тип рекомбинации

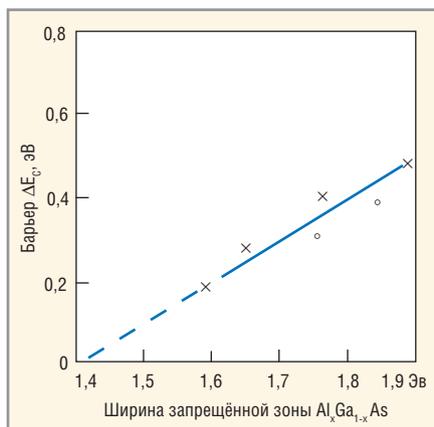


Рис. 9. Зависимость величины энергоразрыва в зоне проводимости в гетеросистеме  $AlGaAs-GaAs$

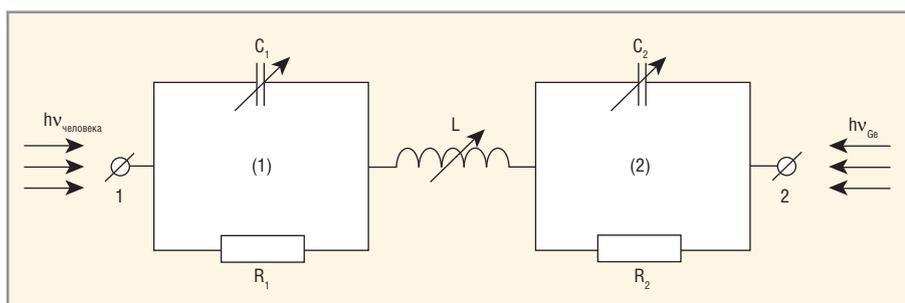


Рис. 10. Эквивалентная схема двух последовательно включённых LC-контуров с возбуждением тепловыми ИК длинными волнами человека и ИК короткими волнами германия

ток LPE i-GaAs (0,565 нм) сопряжённых гетерослоёв должна быть минимальной. Она почти нулевая с AlGaAs (0,565 нм) и Ge (0,565 нм) и составляет 3,5% с GaP (0,545 нм). Если в солнечной фотовольтаике на основе кремния или MOCVD арсенида галлия (не путать с LPE i-GaAs) процессы генерации фото-ЭДС в основном связаны с генерацией электронно-дырочных пар в  $n^+$ -р узких зонах перехода (ОПЗ и примыкающих областях) с, как правило, доминирующим диффузионным механизмом переноса носителей заряда – электронов, полученных в результате квантового воздействия световой  $h\nu$  волны с  $\lambda = 0,75...0,4$  мкм или  $E = h\nu \approx 1,5...2,9$  эВ, то в нашем случае данный механизм переноса генерируемых электронов будет разительно отличаться от кремниевой солнечной генерации носителей заряда. Это связано с изначальным наличием области пространственного заряда во всей i-зоне, т.е. зоны преимущественно дрейфа носителей ( $j = qn\mu E$ ).

Механизм протекания тока через гетеросистему достаточно сложен, и его можно воспринимать как комбинацию туннельно-полевого и термоэмиссионного (по аналогии с SBD). Исключительное значение имеет и тот факт,

что LPE i-GaAs (SiO) не имеет ни n-тип, ни p-тип, а собственный тип проводимости, несмотря на огромную концентрационную насыщенность растворённых амфотерных атомов кремния (до  $10^{17} \text{ см}^{-3}$ ). LPE i-зона, сосредоточенная между двумя энергетическими зонами с  $E_g > 1,8$  эВ и  $E_g < 0,7$  эВ, оказывает исключительное сильное влияние на эффективность переноса генерируемых с ионизируемых амфотерных центров носителей заряда (электронов и дырок) и КПД их доставки во внешнюю электрическую цепь (нагрузку).

Из экспериментальных подтверждений образования диффузионных длин электронов в LPE i-слое  $L_{ni}$  до 60 мкм следует, что толщина разделительного, насыщенного амфотерной примесью i-слоя, а фактически – области пространственного заряда (ОПЗ), может достигать сопоставимых значений, или вплоть до трёхкратных значений диффузионной длины  $L_{ni}$ .

На рисунке 10 приведена эквивалентная схема двух встречно включённых изотипных диодов n-AlGaAs-i-GaAs (1) и  $n^+$ -Ge-i-GaAs (2) (по аналогии с примером на двух встречно включённых диодах с барьером Шоттки, с очень сложными по профилю энергетическими

зонами), на внутреннюю энергию которых воздействуют два типа излучения.

1. Внешнее излучение с  $\lambda = 5...12$  мкм с пиковым резонансным «чёрным» узкоспектральным излучением на длинах волн около 8...12 мкм.
2. Более коротковолновое излучение электролюминесцентного диода на основе германия с  $\lambda \geq 1,65$  мкм (бриллюэновская рекомбинация).

Очевидно, что два последовательных контура, обладая сверхдобротностью, будут иметь свою резонансную частоту:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

с периодом колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}},$$

где добротность будет обусловлена скоростью изменения реактивных проводимостей контуров. Т.е.  $\frac{dL}{dt}$  и  $\frac{dC}{dt}$ , которые будут пропорциональны  $\frac{d\sigma}{dt}$  (изменению проводимости в LPE i-GaAs слое). Изменение проводимости может принимать значения с огромным градиентом  $\frac{d\sigma}{dt} \gg 10^6$  (до  $10^8$ ), а это означает, что добротность такого контура может достигать не стандартных значений в варикапах на основе GaAs, равных  $Q \approx 10\ 000$ , а абсолютно новых величин:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 10^6 \dots 10^8.$$

Отсюда следует, что мы имеем дело не просто с аналогией DC солнечной вольтаики, а с исключительно эффективным AC/DC ЭДС-генератором с двойным оптопреобразованием.

Кроме этой разработаны и другие дизайн-модели на основе гетероструктур, в частности:  $Al_{x1}Ga_{1-x1}As-i-GaAs-Al_{x2}Ga_{1-x2}As$ , GaP-i-GaAs-AlGaAs и пр.

Приведённая модель мини-ТЭЦ очень эффективна для энергопитания кардио- и нейростимуляторов, слуховых аппаратов и, в перспективе, искусственного зрения человека на основе ранее представленных моделей терагерцового резонансно-параметрического усиления/генерации [1, 2], а также для описываемых в настоящей статье ИК-приёмников короткого излучения и длинного (теплого), т.е. микроболметров, реагирующих на излучение человеческого тела (лица, глаз, головы, рук).

Гетеротепловольтаику на основе материнского монокристалла LPE i-GaAs (SiO) можно разделить на две группы:

- пассивный ИК-локатор;
- активный ИК-локатор.

Пассивный ИК-локатор аналогичен солнечной фотовольтаике, и показан на рисунке 6. Активный ИК-локатор может быть двух типов. Один из них – с генерацией собственного электромагнитного излучения на основе упомянутых изотипных гетеросистем AlGaAs/i-GaAs/Ge. Второй вариант заключается в следующем.

Как известно, при прохождении тока через индуктивность возникает самоиндукция:

$$E_c = -L \frac{di}{dt}$$

что является одним из паразитных явлений всплеска напряжения, допустим, на IGBT и MOSFET силовых аналогах в электроприводе с ШИМ-модуляцией, которое полезно в нашем случае. ИК-гетероструктуру, показанную на рисунке 7, можно рассматривать как фототранзистор с ИК-запуском, а ИК-гетеросистему с последовательной индуктивностью L можно также рассматривать как LC-контур с резонансной частотой:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

где C – переменная ёмкость, зависящая от автоколебаний тока и напря-

жения, определяемых стремлением разности фаз к нулю ( $\cos\phi \rightarrow 1$ ). Следовательно, имея в одном случае контур из ИК-фотоприёмника на одном мощном гетерокристалле и второй контур из небольшого столба гетероприёмников, мы будем иметь два контура, в результате чего несложно понять, что более мощный фотоприёмник будет периодически находиться под напряжением обратного смещения «столбового» контура. В итоге мы будем иметь своеобразный авто-блокинг-генератор импульсов резонансно-коммутируемого ИК комплексного ключа. Для питания «нательных» аппаратов биостимуляции можно использовать более высоковольтную ИК-электроэнергию для AC/DC- или AC/AC-преобразования.

### Тепловольтаика «из воздуха» («тепловой насос»)

На научно-техническом совете, посвящённом созданию новой отечественной электроники на основе структур LPE i-GaAs, докладчику был задан вопрос о том, как получить вольты «из воздуха». Вопрос выглядит наивным только на первый взгляд. Далее

мы изложим свою точку зрения на проблему создания мини-ТЭЦ «из воздуха». Вначале немного истории. В статье [13] мы показали, каким образом можно опередить ряд западных стран в области создания летающей микроробототехники (до 0,06 г) – так называемых MAV-стрекоз (Micro Air Vehicle, летабельный микроаппарат). Частота взмаха крыльев у западных систем на основе  $^{63}\text{Ni/Si}$  достигает 100 Гц. Наши системы на основе  $^{147}\text{Pm/LPE i-GaAs (SiO)}$  могут быть в 50 раз более эффективными. Но обратите внимание, что западная MAV-стрекоза для подразделений специального назначения может иметь подъёмную силу только 0,06 г (МЭМС бета-кантилевер), тогда как наша – в 50 раз мощнее. Однако на MAV-дроне необходимо также разместить сенсорные датчики для контроля среды, радар, приёмопередатчик, микропроцессор, навигатор и т.д. В этом случае мощность бета-источника должна быть значительно выше импульсных 1...2 мкВт. Можно ли увеличить данную мощность хотя бы в 1000 раз? Конечно, можно – на основе описанных гетеросистем активного ИК-типа, т.е. либо с ИК комбини-

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



## Начните периферийное сканирование с бесплатной версии JTAG Live Buzz

Скачайте уже сегодня с [www.jtaglive.ru](http://www.jtaglive.ru)

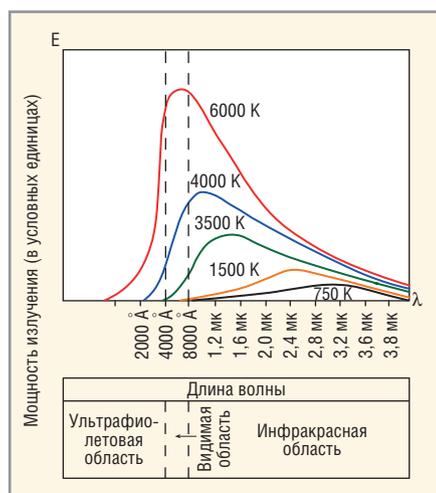


- Buzz
- BuzzPlus
- AutoBuzz
- Clip
- Script
- Плееры JAM/STAPL/SVF
- JTAG Live Controller

Реклама

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

Эксклюзивный дистрибьютор: ООО «Остек-Электро»  
Телефон: (495) 788-4444  
E-mail: [info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



**Рис. 11. Распределение энергии в спектре излучения накалинного угля при различных температурах [17]**

рованной электролюминисцентной (внешней/внутренней) фотовольтаикой, либо с использованием варианта ИК блокинг-генератора. Если внимательно рассмотреть рисунок 5, то можно заметить ИК-спектр излучения бытовой комнаты (жилища). Проведём несложные расчёты.

Если плотность квантов солнечной радиации составляет  $\approx 2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}/\text{с}$ , то плотность ИК-квантов излучения человеческого тела можно определить из соотношения мощности излучения Солнца на поверхности Земли (которое, допустим, максимально в условиях солнечной Сахары  $\approx 1500 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ) и мощности теплового излучения человека по расчётам академика Ю.В. Гуляева [4, 5]  $\approx 100...50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Тогда плотность ИК-квантов человеческого излучения будет определяться соотношением:

$$\frac{P_{\text{солнца}}}{h\nu_{\text{солнца}}} : \frac{P_{\text{человека}}}{h\nu_{\text{человека}}}$$

При средней энергии солнечной радиации  $\approx 1,0 \text{ эВ}$  и человека  $\approx 0,1 \text{ эВ}$  получаем, что плотность ИК-квантов человека находится на уровне  $1/3...1/5$  от флюенса квантов солнечной радиации, а это, ни много, ни мало,  $\approx (4...6) \times 10^{16} \text{ см}^{-2}/\text{с}$  или  $\approx 3...4 \text{ мВт}/\text{см}^2$ .

Для количественной оценки ИК-квантов в «тёмной» жилой комнате и их энергонаполняемости примем во внимание тот факт, что при температуре окружающей среды  $T \approx 300 \text{ К}$  человек чувствует себя достаточно комфортно, т.е. при этих температурах наступит баланс теплоприёма и теплоотдачи человеческого тела. Зная о том, что в нормальных условиях ( $25^\circ\text{C}$ ) средняя энергия молекул воздуха (кисло-

рода при средней тепловой скорости молекулы  $\text{O}_2 \approx 640 \text{ м/с}$ , что составляет удвоенную скорость звука, или молекулы азота при средней тепловой скорости  $\approx 493 \text{ м/с}$  оценивается приблизительно как  $E = 3/2 \text{ кТ}$ , можно сделать вывод, что основной энергообмен между воздушной средой и человеком происходит приблизительно на волнах  $\lambda \approx 8...50 \text{ мкм}$  (см. рис. 5). Т.е. диапазон, на который приходится больше половины излучения/поглощения человеком и до 90% теплового излучения бытовой комнаты. Этому соответствует диапазон энергий  $0,14...0,02 \text{ эВ}$  (или от  $5,4$  до  $0,77 \text{ кТ}$ ). Исходя из предположения, что плотность тепловых квантов (см. рис. 5) с энергией  $E \geq 0,1 \text{ эВ}$  (или  $\lambda = 4,0...12 \text{ мкм}$ ) составляет  $1/4$  плотности теплового излучения в комнате, то ожидаемая плотность квантов с энергией больше  $0,1 \text{ эВ}$  приблизительно равна  $10^{16} \text{ см}^{-2}/\text{с}$  или с прогнозируемой энергией приёма ИК-излучения комнаты на уровне  $E \approx 3...4 \text{ мВт}/\text{см}^2 \times \eta/4$ , где  $\eta$  – КПД фотоприёмника.

Таким образом, мы ожидаем, что энергия излучения бытовой «тёмной» комнаты при  $T = 300 \text{ К}$  ( $27^\circ\text{C}$ ) составляет, по крайней мере,  $100...200 \text{ мВт}/\text{см}^2$ , что в несколько раз превышает даже «нательные» термо-ЭДС, показанные учёными Калифорнийского университета, Техасского университета A&M и Университета штата Северная Каролина США [14, 15, 16]. Предложенные нами микро-ТЭЦ очень удобны для применения в радарно-мониторинговых MAV-стрекозах для подразделений специального назначения или для МЧС. В итоге можно не только найти в «тёмной» комнате чёрную кошку» (террориста), но и эффективно воспользоваться его же тепловой излучаемой энергией.

### ЭЛЕКТРОНИКА «НА УГЛЯХ»

Если человек заблудился в тайге, особенно в зимний период, или в горах, или в тундре, а батарейки в сотовом телефоне или других средствах связи разряжены, то можно просто развести костёр и, используя его тепло, включить мини-ТЭЦ (блок питания), разработанный на основе LPE i-GaAs (SiO) тепловольтаики с использованием приведённых конструкций.

С учётом того, что угли излучают кванты в широчайшем диапазоне (от видимых оптических волн до длинных ИК-волн, в течение нескольких часов), можно заменить приёмопередатчик сотового телефона или других средств

связи для подачи сигнала с целью установления координат местоположения человека. Это будет полезно для егерей, геологов, службы МЧС, отрядов специального назначения и т.д. Конечно, для того, чтобы воспользоваться новыми возможностями, нужно иметь с собой компактный и лёгкий тепловольтаидный генератор. Спектр излучения энергии раскалённого угля показан на рисунке 11.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье показан вариант потенциального исполнения «теплого насоса» на двух видах топлива – тепловом излучении человека и тепловой энергии молекул газа в бытовом помещении, а также на тепловой энергии почвы, воды, окружающей атмосферы. Эффективность предложенной модели «теплого насоса» предполагается значительно более высокой, чем у зарубежных аналогов.

Приведённые варианты исполнения мини- и микро-ТЭЦ ожидаемо будут иметь исключительно высокий уровень востребованности в медицине, в быту и в других областях (кардио- и нейростимуляторы, слуховые аппараты, искусственное электронное зрение, приборы ночного видения, системы безопасности и др.).

Микрочиповый индивидуальный ИК-томограф на основе описанных приёмных ИК-гетеросистем может представлять собой повседневный инструмент мониторинга биоэнергетики человека (его психологического состояния, совместимости с энергетикой окружающей среды, физического состояния и др.), а также как инструмент для уверенной диагностики опасных заболеваний – онкологии, сердечно-сосудистых аномалий, диабета, вирусных заболеваний и др.).

Предлагаемые микроболометрические «тепловые насосы», усиленные терагерцовыми поляризованными [1, 2] системами, предоставляют уникальную возможность реализации электронного биопаспорта для каждого жителя планеты (с рождения) взамен существующих бумажных гражданских паспортов.

Биопаспорт, как сутоубо индивидуальный электромагнитный, биоэнергетический и психологический идентификатор – это уникальнейший инструмент для борьбы с терроризмом.

Индивидуальный биопаспорт создаёт предпосылки для появления новей-

шей технологической платформы синтеза терагерцовых информационных технологий в банковских системах с терагерцовой идентификацией личности, обеспечивающей абсолютную защищённость финансовых операций, что, в конечном счёте, приведёт к полной виртуализации валюты и глубокой реструктуризации банковской системы. Произойдёт переход на терагерцовые финансовые операции через сеть пета-ёмкостных data-центров, связанных непосредственно с индивидуальными пользователями.

Модель «теплого насоса» с коммерческой точки зрения даже более перспективна, чем совокупный валовой продукт Рособоронэкспорта, а в сочетании с терагерцовой электроникой [1, 2], по сути, является твердотельным заменителем углеводородной составляющей экономики.

Наше очередное предложение, достаточно смелое с научной точки зрения, как и другие предложения, представленные ранее на страницах журнала «Современная электроника», можно реально рассматривать как очередной вклад в создание Национальной ФЦП

по развитию отечественной электроники, опережающей мировой уровень.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы. Часть 1. Современная электроника. 2016. №6.
2. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы. Часть 2. Современная электроника. 2016. №7.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашиников С.Г. Физика полупроводников. М. Наука. 1977.
4. Гуляев Ю.В., Годик Э.Э. Физические поля биологических объектов. Вестник Академии наук СССР. 1983. №8.
5. Гуляев Ю.В., Годик Э.Э. Статья в книге «Кибернетика живого: биология и информатика». М. Наука. 1984. Стр. 111–116.
6. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М. Мир. 1988.
7. Гроссе П. Свободные электроны в твёрдых телах. М. Мир. 1982.
8. Коган И.М. Прикладная теория информации. М. Радио и связь. 1981.
9. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н. Новая экстремальная электро-

- ника на основе LPE i-GaAs монокристаллов. Современная электроника. 2014. № 6.
10. Навиельский А.Я. Монокристаллы полупроводников. Москва. Металлургия. 1978.
11. Шарма Б.Л., Пурухим Р.К. Полупроводниковые гетеропереходы. М. Советское радио. 1979.
12. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл–полупроводник. М. Мир. 1975.
13. Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н. Моделирование новой бета-вольтаики на монокристаллах LPE i-GaAs. Современная электроника. 2015. № 6.
14. Misra V. et al. Flexible Technologies for Self-Powered Wearable Health and Environmental Sensing. Proc. IEEE 103. 665–681. 2015.
15. Ostfeld A.E. et al. High-Performance Flexible Energy Storage and Harvesting System for Wearable Electronics. Sci. Rep. 6. 26122. 2016.
16. Choongbo Yu. Thermally Self-Chargeable Flexible Energy Storage Device. Texas T&M University. www.tamus.flintbox.com/public/filedownload/9016/TAMU%204371%20White%20Paper.
17. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. Москва. Наука. 1962.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Форум Altium 2017: инновации в проектировании электроники

Компания Altium Limited, ведущий мировой разработчик в области автоматизации проектирования электронных устройств, объявляет о начале регистрации участников на форум Altium 2017 «Инновации в проектировании электроники», который пройдёт 23 мая 2017 г. в Москве.

Ежегодный форум Altium – это площадка, которая даёт возможность для общения и обмена опытом между разработчиками, инженерами и пользователями продуктов для проектирования электронных устройств.

В этом году в рамках форума участники смогут первыми узнать обо всех новых возможностях Altium Designer 17.1 и Altium Vault 3.0. Пользователи смогут получить информацию и о других продуктах компании, а также узнать больше об идеологии развития программных решений разработчика.

Кроме того, все желающие смогут самостоятельно ознакомиться с новыми функциональными возможностями Altium Designer 17.1. Для этого во время мероприятия будет действовать User-zone – специально оборудованная площадка с рабочими местами, где участники также смогут полу-

чить индивидуальную консультацию по решениям компании от технических специалистов Altium.

Программа форума и регистрация доступны на сайте Altium Limited.

Заявки на участие принимаются до 12 мая 2017 г. включительно. Участие в форуме бесплатное.

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

### 1,8 млрд рублей на модернизацию электротехнического производства Росэлектроники

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех направит на модернизацию крупнейшего производителя электровакуумного коммутационного оборудования – саратовского АО «НПП «Контакт» – 1,8 млрд рублей. Такой объём инвестиций предусмотрен в рамках одной из федеральных целевых программ и рассчитан на период 2016–2019 гг.

Планируется, что в общем объёме инвестиций 1,62 млрд рублей составят средства федерального бюджета, а 0,18 млрд рублей – собственные средства предприятия. В 2016 г. НПП «Контакт» уже напра-

вило на реализацию программных мероприятий 30 млн рублей. Предполагается, что в следующие три года предприятие будет вкладывать в техперевооружение по 50 млн рублей. При этом федеральное финансирование начнётся в текущем году (1,08 млрд рублей) и завершится в 2018 г. (540 млн рублей).

Проект предусматривает оснащение производства современным высокоточным оборудованием и созданием испытательного комплекса. В частности, планируется закупить токарные и фрезерные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), а также специальные обрабатывающие центры, в том числе импортные. Кроме того, предполагается установить вакуумные и водородные печи, откачные посты, установки лазерной сварки. Планируется заменить оборудование азотно-кислородной станции, компрессорной станции, системы оборотного водоснабжения и обеспечения деионизированной водой. Для оснащения испытательного оборудования предусмотрена закупка широкого ассортимента измерительных приборов и устройств.

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

# Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: концепция построения 3D М ФЭФ М и изделий на их основе

## Часть 2

Валерий Сведе-Швец, Владислав Сведе-Швец,  
Максим Зиновьев (Москва)

Кремниевая-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии позволяют реализовать перспективные технологии соединений посредством многоканальных оптических и электрических каналов, реализующие фотон-электрон-фотонные связи непосредственно на поверхности полупроводниковых кристаллов. Такой подход сформулирован авторами на основе организации ввода-вывода информации, используя поверхность всего кристалла.

### Базовые принципы создания 3D М ФЭФ М

3D матричные фотон-электрон-фотонные модули, предлагаемые ООО «ОЭС», основаны на ряде базовых принципов, включающих новые концепции развития интегральной оптоэлектроники, такие как: кремниевая-фотонная технология, арсенид-галлий-алюминиевая (AlGaAs) технология, кремниевые матричные фотон-электронные СБИС, 3D-технология изготовления гибридных интегральных многоканальных схем.

**Кремниевая-фотонная технология** – это кремниевая технология с библиотекой базовых элементов для производства матриц фотон-электронных Si-кристаллов СБИС – М ФЭ СБИС Si с оптическим матричным и электрическим регистровым интерфейсом. М ФЭ СБИС Si строится по двумерной архитектуре с матрицей ячеек функциональных интеллектуальных пикселей. В каждой ячейке пикселя содержатся и последовательно располагаются

фотонная площадка с электронным приёмным устройством, АЦП, функциональная схема (процессор, память, коммутатор и т.д.), ЦАП и усилители тока для лазеров вертикального излучения, интерфейс EMIFA, матричные и регистровые электрические контакты.

Блоки АЦП и ЦАП необходимы для формирования оптического интерфейса ввода-вывода с импульсной аналогово-цифровой модуляцией, что позволяет по одиночному оптическому каналу пикселя передавать или принимать слова из восьми или более бит информации за один такт. М ФЭ СБИС Si имеет три многоканальных интерфейса: матричный-оптический, матричный-электрический (для приёма, передачи информации) и регистровый-электрический (для передачи команд и данных).

М ФЭ СБИС Si выполняет такие основные функции, как обработку данных и обмен информацией по трём интерфейсам, что позволяет получить очень высокий пропускной поток информации за единицу тактовой частоты, и является одним из преимуществ М ФЭ СБИС Si перед электронными СБИС.

**Арсенид-галлий-алюминиевая (AlGaAs) технология** – это технология для производства матриц электрон-фотонных кристаллов лазеров вертикального излучения VCSEL – М ФЭ СБИС VCSEL. Вертикально-излучающие лазерные диоды VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) диапазонов длин волн 850/980 нм стали базовыми приборами для оптоволоконных систем передачи данных со скоростями до 10 Гбит/с.

### Технологии кремниевых матричных фотон-электронных СБИС

позволяют создавать ряды функциональных матричных М ФЭ СБИС Si с электрической интерфейсной шиной EMIFA для связи с управляющим процессором и периферийными устройствами. Для таких систем необходим управляющий процессор, который осуществляет обмен данными и сигналами управления с М ФЭ СБИС Si и выдаёт общесистемные команды при работе с внешними устройствами.

Конструкторские решения по созданию объёмных 3D-устройств включают в себя: использование 3D-технологии для изготовления и сборки гибридных интегральных многоканальных схем (ГИМС) и 3D матричных фотон-электрон-фотонных модулей (3D М ФЭФ М) и построения объёмных 3D-устройств на их основе, таких как архитектурно-системные устройства высокопроизводительных информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных систем и комплексов на основе 3D М ФЭФ М.

3D М ФЭФ М – это модуль, имеющий герметичный корпус с двумя матричными оптическими линзовыми растрами и внешним электрическим разъёмом, в котором по ГИМС-технологии установлены два электрически связанных кристалла (М ФЭ СБИС Si и М ФЭ СБИС VCSEL), которые устанавливаются на плате-носителе либо связываются непосредственно между собой по технологии Flip-Chip в металлокерамическом PGA-корпусе.

На рисунке 5 показана конструкция модуля 3D М ФЭФ М.

В 3D М ФЭФ М реализуются внутренние и внешние многоканальные связи. Две внешние фокальные плоскости 3D М ФЭФ М обеспечивают ортогональный ввод и/или вывод матричной, фотонной информации по многоканальным оптическим проводным и/или беспроводным каналам связи. Планарные электрические матрич-

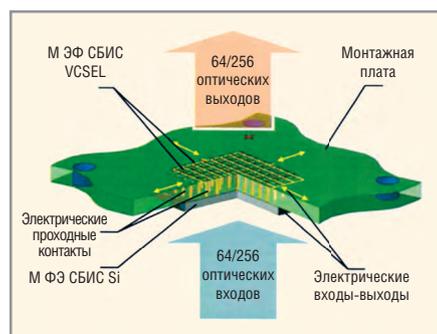


Рис. 5. Конструкция модуля 3D М ФЭФ М

ные каналы образуют связь между двумя интегральными полупроводниковыми кристаллами, а электрические регистровые каналы реализуют обмен данными и командами по параллельному интерфейсу EMIFA.

Кристаллы для 3D М ФЭФ М изготавливаются с применением технологий Si и AlGaAs.

Принцип реализации матричной оптической, матричной и регистровой электрических связей в 3D М ФЭФ М приведён на рисунке 6а.

В 3D М ФЭФ М внешняя многоканальная матричная оптическая связь направлена ортогонально к плоскостям кристаллов Si и AlGaAs, по оси Z.

Внутренние электрические – для связи двух кристаллов, а внешние электрические регистровые связи – по осям X, Y и Z относительно плоскостей полупроводниковых СБИС, установленных в 3D М ФЭФ М.

Такая организация многоканальных оптических и электрических связей в 3D М ФЭФ М переводит его в категорию полупроводниковых приборов с объёмной, трёхмерной 3D-архитектурой.

На рисунке 6б приведён принцип построения архитектуры устройства на базе 3D М ФЭФ М с многоканальной потоковой обработкой информации.

3D М ФЭФ М позволяет реализовать режим потоковой, вертикальной обработки информации, поступающей по многоканальным оптическим каналам, с обработкой информации «на проходе», без промежуточного её хранения.

### Кремниво-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии

Разработанные кремниво-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии позволили реализовать перспективные технологии соединений, представленные на рисунке 4 в первой части статьи (см. журнал «Современная электроника» №3, 2017), и обеспечили выполнение требований новой парадигмы, реализующей особенности построения объёмных многоканальных фотон-электрон-фотонных модулей – 3D М ФЭФ М с многоканальными интеллектуальными портами.

Функциональный ряд 3D М ФЭФ М с управляющим электронным процессором на мезонинной плате позволяет создавать следующие высокопроизводительные изделия радиоэлектронного и оптоэлектронного приборостроения:

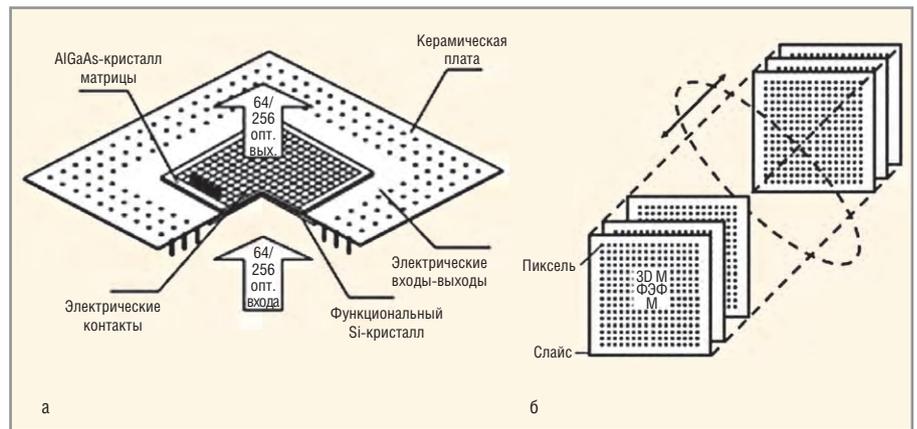


Рис. 6. Архитектура устройств на базе 3D М ФЭФ М: а – связь в 3D М ФЭФ М; б – организация «вертикальной обработки»

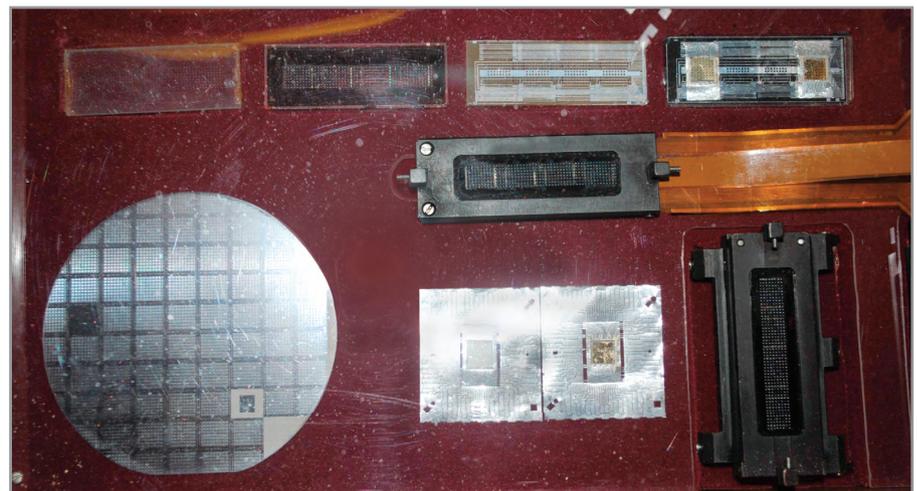


Рис. 7. Пластина кремния на сапфире (КНС) Ø76 мм с функциональными матричными кристаллами

- распределённые высокопроизводительные информационно-вычислительные системы бортового и наземного базирования;
- многодатчиковые устройства ЦАР для радиолокации и связи;
- многоканальные высокоскоростные коммутационные устройства для оптических магистралей РЛС с фазированными антенными решётками с применением обмена информацией по стандарту Space Wire;
- многоканальные интеллектуальные адаптеры с платами для устройств промышленной электроники;
- многопроцессорные высокопроизводительные вычислительные модули и платформы;
- многоканальные оптические векторные и нейросетевые вычислители.

Кремниво-фотонная и арсенид-галлий-алюминиевая технологии, разработанные ООО «ОЭС», прошли этапы научных исследований, проектных, конструкторских и технологических решений, экспериментального макетирования и изготовления

опытных образцов, измерения и приёмку.

В процессе разработки кремниво-фотонной технологии Si-кристаллов матриц интеллектуальных пикселей было проведено исследование оптимального выбора структуры с учётом формирования кремниевого диода, как элемента, и его сопряжение с базовой библиотекой электронных элементов, применяемых в типовой кремниевой Si-технологии завода-изготовителя.

Были исследованы три варианта кремниво-фотонной технологии формирования Si-фотодиода на пластине с учётом выбора стороны фотонной засветки фотодиода лазером VCSEL, технологии сборки 3D ГИМС и 3D М ФЭФ М.

1. Технология кремний на сапфире (КНС) с фотонной засветкой лазером VCSEL фотодиода через сапфировую подложку (снизу) (см. рис. 7).
2. Технология кремний на изоляторе (КНИ) с вытравленными в кремниевой подложке с противоположной стороны полупроводниковой структуры воздушными каналами и фотон-

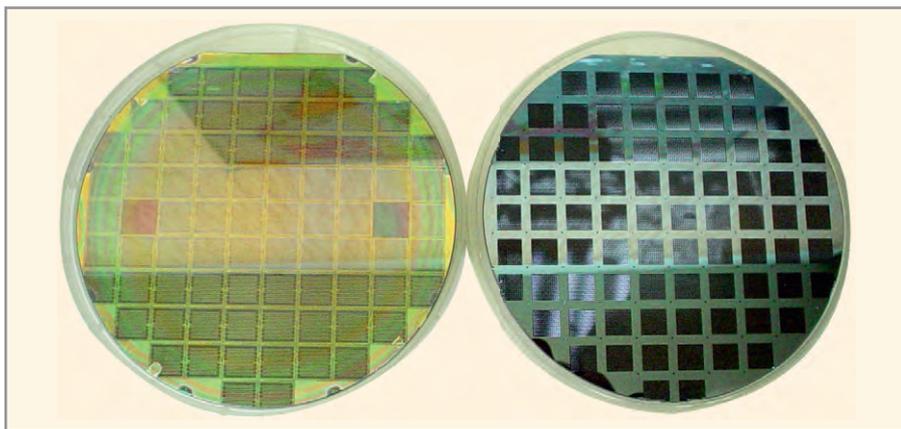


Рис. 8. Пластины кремния на изоляторе (КНИ) Ø150 мм с функциональными матричными кристаллами и воздушно-оптическими каналами с обратной стороны (лицевая и обратная сторона)

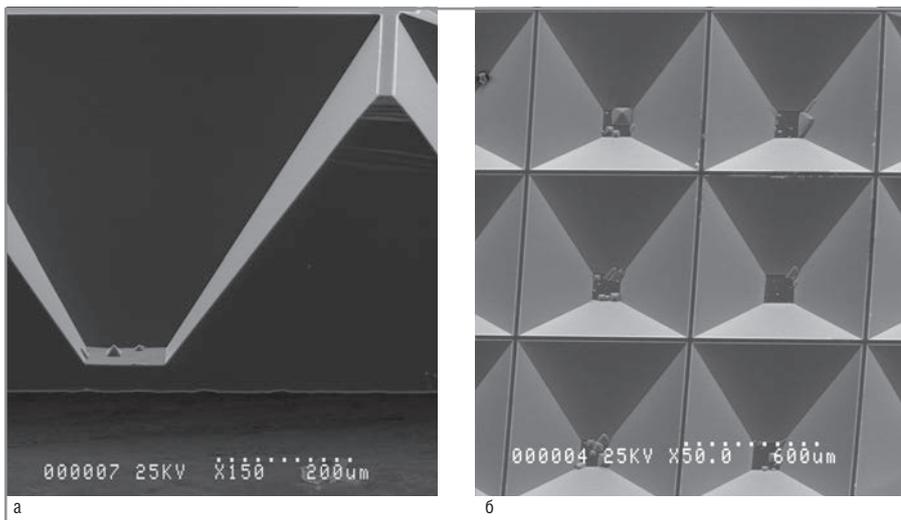


Рис. 9. Микрофотографии воздушно-оптических каналов в кремниевой пластине после сухого травления: а – вид сбоку; б – вид сверху

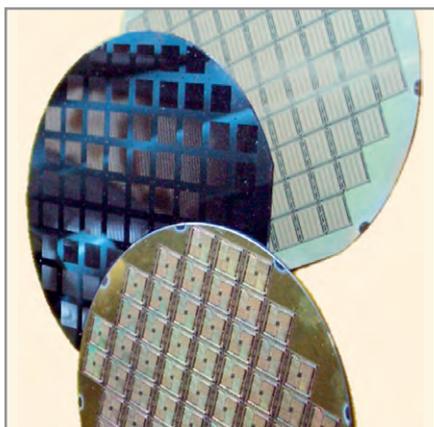


Рис. 10. Фотография кремниевых пластин Ø150 мм с функциональными матричными кристаллами

ной засветкой лазером VCSEL фото диода через тонкую плёнку изолятора. На рисунке 8 представлены фото макетных образцов пластин КНИ с матричными воздушными каналами и кремниевыми кристаллами. На рисунке 9 – микрофотографии

фотонных каналов в кремниевой пластине после сухого травления.

3. Типовая кремниевая технология изготовления матричных полупроводниковых структур, на которых засветка фотодиодов осуществляется лазерами VCSEL в прямом контакте (см. рис. 10). В результате проведённой работы по созданию ряда 3D М ФЭФ М было осуществлено следующее.

1. Проектирование по кремниевой технологии Si кристаллов матриц интеллектуальных пикселей с аналоговыми, цифровыми схемами и интегральными фотонными приёмными ячейками для оптических каналов связи с использованием САПР. Разработана документация по технологическим нормам фабрики-изготовителя. Для отработки кремниевой технологии изготовления Si-кристаллов матриц интеллектуальных пикселей были изготовлены пластины с опытными образцами матричных кристаллов интеллектуальных пикселей с ана-

говыми, цифровыми схемами и интегральными фотонными приёмными ячейками для оптических каналов связи и электрическими контактными площадками. После чего были получены рабочие образцы Si-пластин с кремниевыми матричными кристаллами с учётом требований кремниевое-фотонной технологии, включая изготовление шариковых выводов для монтажа по технологии Flip-Chip, изготовления оптически прозрачных каналов с обратной стороны Si-пластины к фотодиодным площадкам функциональных пикселей, которые прошли разделение пластин на отдельные матричные кристаллы, проверку и паспортизацию.

2. Проектирование по арсенид-галлий-алюминиевой AlGaAs-технологии кристаллов матриц вертикально излучающих лазеров VCSEL с использованием САПР, выпуск документации по технологическим нормам фабрики-изготовителя. В результате были изготовлены опытные образцы AlGaAs-пластин с кристаллами матриц VCSEL. После были получены рабочие образцы с матрицами VCSEL на основе AlGaAs с сформированными шариковыми выводами для монтажа по технологии Flip-Chip. Пластины AlGaAs VCSEL подвергались резке на отдельные матричные кристаллы, проверке и паспортизации.

Результаты проведённой работы позволили реализовать в 3D М ФЭФ М следующие виды обмена информацией:

- оптический приём – логическая обработка, коммутация – оптический выход;
- оптический приём – логическая обработка, коммутация – электрический выход;
- электрический приём – логическая обработка, коммутация – оптический выход;
- электрический приём – логическая обработка, коммутация – электрический выход.

Важным параметром работы 3D М ФЭФ М является то, что все виды обмена выполняются одновременно в многоканальном и параллельном режимах.

В следующей статье будет рассмотрен процесс проведения работ по формированию технологии матричной трёхмерной элементной базы, во время которого были разработаны и исследованы лазеры вертикального излучения и фотодиоды для генерации и приёма фотонных сигналов.

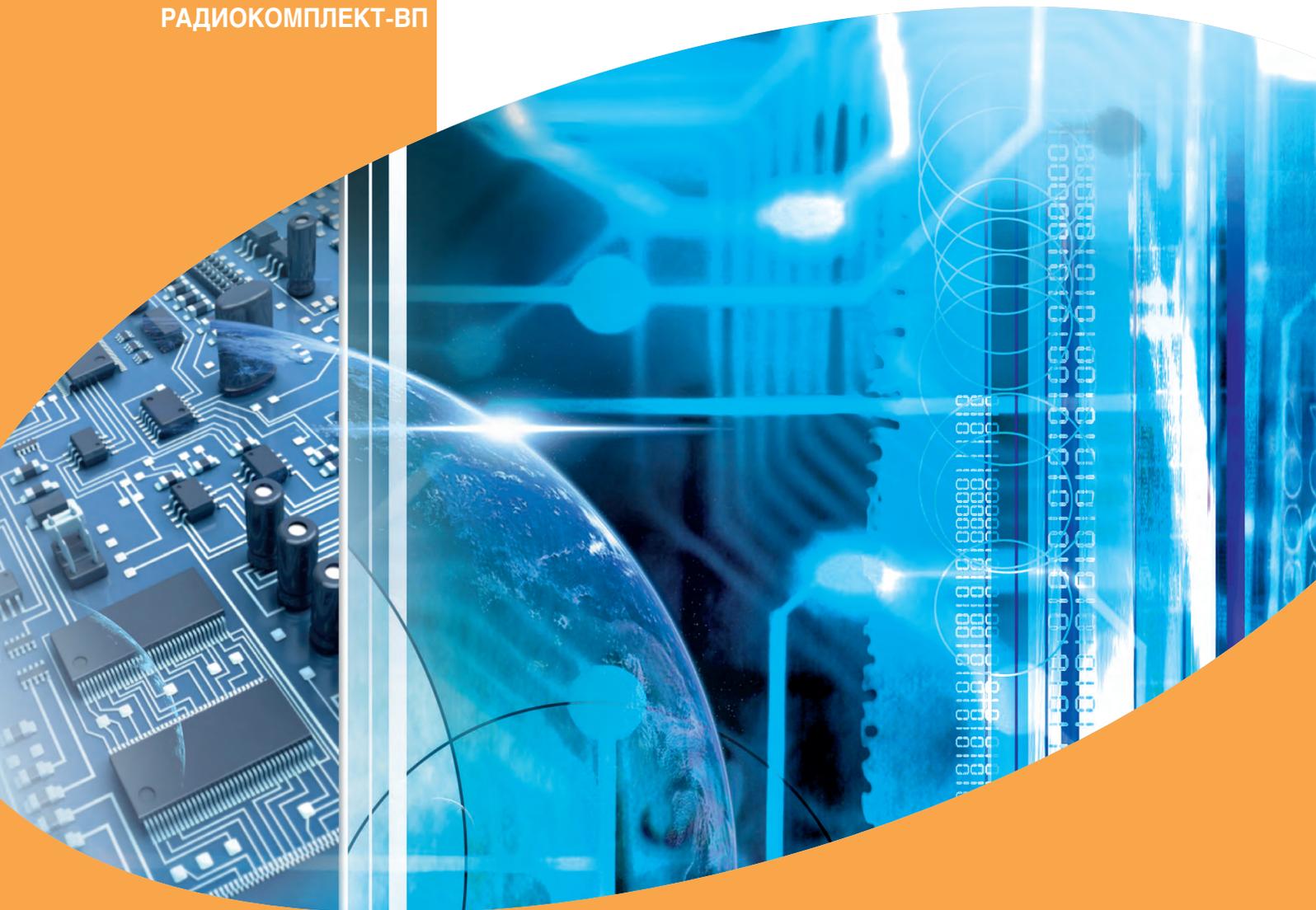




РАДИОКОМПЛЕКТ-ВП

# КВАЛИФИЦИРОВАННЫЙ ПОСТАВЩИК ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ российских и зарубежных производителей

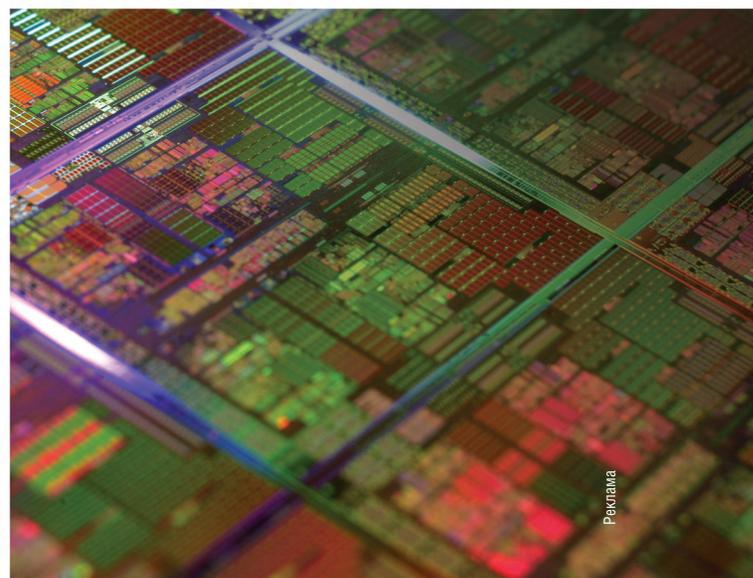
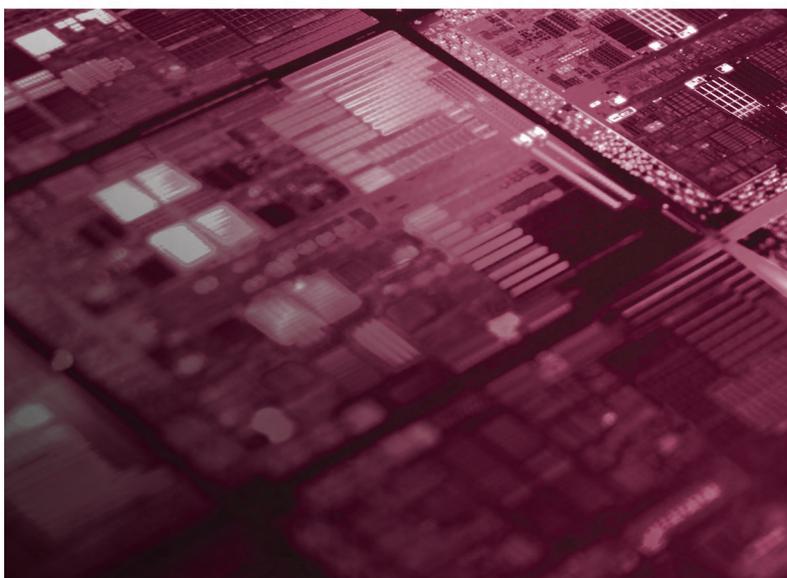
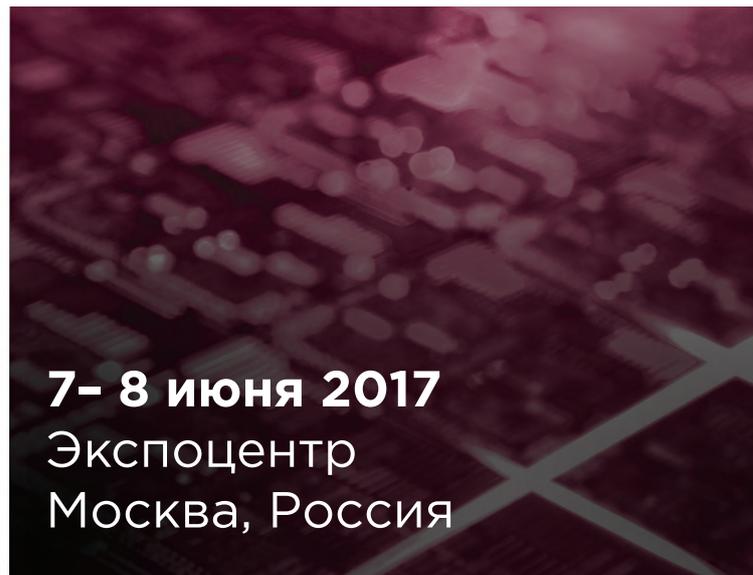
Зарегистрированы в Реестре ЦОС «Электронсерт»  
в качестве квалифицированного поставщика от 22.06.2015



- Комплексная поставка электронных компонентов импортного производства, стран СНГ и России
- Печатные платы
- Инверторы, конвертеры, источники питания, зарядные устройства для всех типов аккумуляторов
- Постоянно в наличии весь ряд SMD-компонентов и электрических соединителей
- Работаем в соответствии с основными федеральными законами №223-ФЗ от 18.07.2011, №44-ФЗ от 05.04.2013, №275-ФЗ от 29.12.2012

Реклама

# SEMIEXPO RUSSIA



**Ведущий форум индустрии микроэлектроники  
и полупроводников в России**

**semiexpo.ru**

Новости мира News of the World Новости мира

**Учёные УрФУ работают над созданием чипов нового поколения**

Учёные Уральского федерального университета ведут исследования, позволяющие создать компьютерные процессоры, которые будут иметь в несколько десятков раз большее быстродействие и меньшие размеры, по сравнению с современными процессорами.

Прорыв в создании новых технологий должны принести фундаментальные исследования оксидов редкоземельных элементов с пониженной размерностью. Проект направлен на создание новых материалов с заданными свойствами для устройств преобразования излучения УФ- и ИК-диапазонов.

Помимо чипов для компьютеров и телефонов могут быть также созданы новейшие лазеры, светодиоды, дисплеи, сенсоры, конвертеры и солнечные ячейки с передовыми характеристиками.

В ходе исследований учёные УрФУ используют современные методы рентгеновской, оптической, фотоэлектронной, ЭПР, ИК и КР-спектроскопии. Это позволит в системах, содержащих оптически активные центры, кластеры и квантовые точки, определить параметры локальной атомной структуры, особенности дефектообразования, энергетические и кинетические характеристики возбуждённых состояний.

*Пресс-служба Уральского федерального университета*

**TSMC выстроит в США завод по производству чипов на 3-нм техпроцессе**

TSMC официально назвала США возможным местом строительства нового завода по производству чипов на 3-нм техпроцессе. Ранее TSMC заявила, что отдаёт приоритет Тайваню в качестве места производства решений на своём передовом 3-нм техпроцессе, и искала поддержки Министерства науки и технологий в приобретении земельного участка площадью 50–80 га для строительства завода. В ответ Министерство пообещало выделить TSMC 50 га в научном парке Гаосюн на юге Тайваня, пишет Digitimes.

Общий объём инвестиций в передовые производственные мощности нового завода по производству чипов на 3-нм техпроцессе может составить более \$16,39 млрд.

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

**Hannover Messe 2017 – взгляд в будущее**

Более 5000 участников выставки Hannover Messe представляют свою инновационную продукцию с 24 по 28 апреля 2017 г. Каждый год крупнейший в мире выставочный центр предоставляет не имеющую аналогов возможность заглянуть в будущее. Для тысяч посетителей выставка Hannover Messe является окном в будущее. Ганновер стал глобальной площадкой для таких тем, как концепция Industrie 4.0, энергоэффективность и интеллектуальные сети.

Прошедшая в апреле 2016 г. Hannover Messe привлекла свыше 190 000 посетителей (превзойдя последнее сравнимое по масштабу мероприятие в 2014 г., собравшее 175 000 человек), нацеленных на будущую успешную работу и инвестирование в самые современные технологии. Свыше 50 000 из них приехали из-за рубежа, что почти на 25% выше по сравнению с 2014 г.

Каждый год одна из ведущих промышленно развитых стран выбирается в качестве страны-партнёра Hannover Messe. В 2016 г.



почётным партнёром выставки стали Соединённые Штаты Америки.

Hannover Messe представляет все основные промышленные секторы на одной площадке: автоматизацию промышленности и ИТ, технологии энергетики и природопользования, промышленный субподряд, производственный инжиниринг и сервис, а также научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Потенциальные эффекты данной синергии – огромны.

Hannover Messe – это гораздо больше, чем просто выставка. Это мероприятие для развития связей, состоящее из более 1000 форумов, презентаций, конференций и специальных мероприятий, целью которых является передача знаний. Форум Industrie 4.0 – это настоящий магнит для посетителей (более 8000 человек в 2016 г).

[www.messe-russia.ru](http://www.messe-russia.ru)

**ООО НПП «МЕТЕОР-КУРС»**  
kurs@meteor-kurs.ru  
[www.meteor-kurs.ru](http://www.meteor-kurs.ru)

**КУРС**  
+7 (8443) 34 22 48

**РАЗРАБОТЧИК КВАРЦЕВЫХ И ДРУГИХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

ООО НПП «Метеор-Курс» был основан в 1997 году в городе Волжском. Эффективно выполняется программа перевооружения — переход на современную высокопроизводительную измерительную аппаратуру, внедрение качественно новых технологических процессов. Производственные мощности предприятия выросли от опытного производства до серийного.

**КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ**

**КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ**

**КВАРЦЕВЫЕ ФИЛЬТРЫ**

**ООО НПП «МЕТЕОР-КУРС» ОТЛИЧАЕТСЯ ГИБКОСТЬЮ РАБОТЫ С ЗАКАЗЧИКОМ:**

- приемлемая ценовая политика;
- удобные сроки и объемы поставок;
- поставка изделий с параметрами, отличающимися от требований ТУ;
- при необходимости проведение разработки нового изделия.

**РАБОТА БЕЗ ПРЕДОПЛАТЫ**

**ДОСТАВКА 20-45 ДНЕЙ**

404130, Россия г. Волжский,  
Волгоградской обл.  
ул. Горького, 1

Регистрация

Под контролем  
Министерства Обороны России

# Термобарокамера для проверки радиоэлектронных компонентов и модулей для космоса

Михаил Никитин (Москва)

В статье затронуты вопросы повышения контроля качества космической аппаратуры за счёт расширения спектра испытаний. Рассмотрены вопросы, связанные с негативными внешними факторами, воздействующими на космическую аппаратуру. Проведён анализ целесообразности применения термобарокамеры (глубокого вакуума) для натурных испытаний.

## БОРТОВОЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Современные космические аппараты (КА) характеризуются наличием большого количества энергоёмкого бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) [1], обеспечивающего их целевое назначение. Именно БРЭО является наиболее уязвимым компонентом, определяющим срок активного существования (САС). Большинство КА, предназначенных для связи и геодезии, имеют САС около 5 лет, для навигации – около 8 лет, для телевидения – около 15 лет [2]. Подобный разброс САС обусловлен назначением КА, его орбитой и, как следствие, стоимостью запуска. Очевидно, что чем она выше, тем больше должен быть САС и тем более жёсткие требования должны предъявляться к БРЭО.

Наиболее существенное влияние на БРЭО в условиях космоса оказывают экстремальные температуры, низкое давление, ионизирующее излучение (ИИ) и тяжёлые заряженные частицы (ТЗЧ) [3]. Именно вышеперечисленные внешние воздействующие факторы (ВВФ) являются основным катализатором отказов. Для защиты БРЭО от воздействия ИИ и ТЗЧ применяется набор конструктивных и технологических решений, среди которых – применение специальных радиационно-стойких интегральных микросхем и защитных конструкций, состоящих из комбинации различных типов керамики, полимеров и металлов. Однако даже при таких условиях доля отказов БРЭО от воздействия радиации составляет около 30% [4].

Вторым ВВФ по степени влияния на БРЭО является температура. В целях

защиты от воздействия экстремальных температур разрабатывается система обеспечения теплового режима [5], суть которой сводится к внедрению в состав КА нагревателей, охладителей (применяются крайне редко), теплоёмких и теплопроводящих элементов конструкции, теплоотражающих и теплоизлучающих компонентов на основе расчётов, учитывающих тепловую среду. Система обеспечения теплового режима должна ликвидировать резкие колебания температуры [5], но при этом потреблять минимальное количество энергии и быть оптимальной по весу. Таким образом, перед разработчиками ставится сложная техническая задача. На основе данных об орбите КА, его конструкции и устройстве, а также по взаимному положению небесных тел произвести подсчёт поглощаемой и выделяемой тепловой энергии, и, исходя из полученных результатов, принять решение об использовании того или иного технического средства, компенсирующего резкие температурные колебания, поскольку применение термостатирования приведёт к росту энергопотребления и массы КА.

Низкое давление в условиях космического пространства также оказывает влияние на конструктивные и схемотехнические решения. До недавнего времени многие КА имели герметичный отсек, создающий для БРЭО условия, близкие к земным, но приводящий к существенному росту массогабаритных показателей [6]. Поэтому в настоящее время БРЭО располагается в негерметичных отсеках, и воздействие низкого давления на отдельные радиоэлектронные модули (РЭМ) и компоненты (РЭК) следует обязательно учитывать. В случае, если при-

меняемые РЭМ и РЭК не предназначены для эксплуатации при низком давлении (до  $1 \times 10^{-6}$  мм рт. ст.), их корпус может существенно деформироваться.

Подводя итог, можно выделить три основных внешних фактора, провоцирующих отказ БРЭО: радиация, термостатирование и вакуум. Поэтому большинство производителей КА проводят жёсткие испытания на земле с целью выявления возможных проблем с БРЭО при эксплуатации на околоземной орбите [4].

## ИСПЫТАНИЕ БРЭО НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НИЗКОМ ДАВЛЕНИИ

В условиях космического пространства КА испытывает существенное влияние циклического изменения температуры. Скорость её нарастания/спада обычно не превышает  $1-2^\circ\text{C}/\text{мин}$  [5], что связано с наличием системы обеспечения теплового режима. При этом диапазон температуры часто выбирают от 0 до  $+40^\circ\text{C}$  [7], а в условиях ограниченности энергоресурсов нередко увеличивают. Поэтому такое воздействие с течением времени может привести к отказам БРЭО, связанным с ростом теплового сопротивления паяных контактов, изменением диэлектрических свойств отдельных компонентов и пр. Особенно это актуально для КА с длительным САС.

Для оценки того, как БРЭО поведёт себя в реальных условиях, принято производить математическое моделирование в сочетании с натурными испытаниями. Например, для оценки влияния изменения температуры можно использовать программные продукты АСОНИКА, позволяющие произвести тепловые расчёты [8] и оценить показатели надёжности. Однако наиболее полные данные о работе и состоянии БРЭО с учётом ВВФ возможно получить лишь при натурных испытаниях образца, используя испытательную камеру глубокого вакуума, которая позволяет проводить циклические изменения температуры при низком давлении.

В настоящее время на российском рынке представлено большое количество испытательных камер глубокого вакуума (ИКГВ), производимых компаниями Thermotron, Espes, «Спецклимат», «НПФ Технология» и пр. Среди такого многообразия нередко специалистам достаточно сложно принять решение о покупке конкретной модели. Именно подобный выбор и предстояло сделать сотрудникам испытательной лаборатории НПП «Арбелос».

Прежде чем углубиться в поиск конкретной модели ИКГВ сотрудники НПП «Арбелос» встречались со специалистами крупнейших авиакосмических предприятий для определения основных требований к БРЭО в части устойчивости к влиянию климатических ВВФ. Было установлено, что наиболее жёсткие требования предъявляются к КА, находящимся на высоких орбитах, имеющих высоту более 30 тыс. км над уровнем моря в плоскости экватора Земли. В составе атмосферы там присутствуют частицы водорода и гелия, а давление составляет около  $10^{-17}$  кгс/см<sup>2</sup>, что является показателем глубокого вакуума [7]. Также были получены данные моделирования теплового режима типового спутника связи без герметичного отсека, на основе которых определены усреднённые значения температуры, воздействующей на БРЭО (с учётом системы обеспечения теплового режима), её диапазон составил -40...+50°C. Таким образом, были сформулированы базовые технические требования к ИКГВ:

- вакуум 99,999%;
- диапазон регулировки температуры -50...+70°C;
- скорость изменения температуры не менее 2°C/мин;



Рис. 1. Внешний вид испытательной камеры глубокого вакуума BK-125

- наличие функции термоциклирования;
- непрерывный режим работы не менее 48 ч;
- объём рабочего пространства камеры не менее 110 л.

Далее был проведён анализ ИКГВ, представленных на российском рынке, установлен критерий по стоимости, сроку окупаемости и периоду активной эксплуатации. В результате выбор пал на BK-125 (см. рис. 1) производства российской компании ООО «НПФ Технология» (г. Санкт-Петербург).

### ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИКГВ BK-125

Как и в любой другой ИКГВ «сердцем» BK-125 является вакуумный на-



Рис. 2. Спиральный безмасляный насос xDS35i

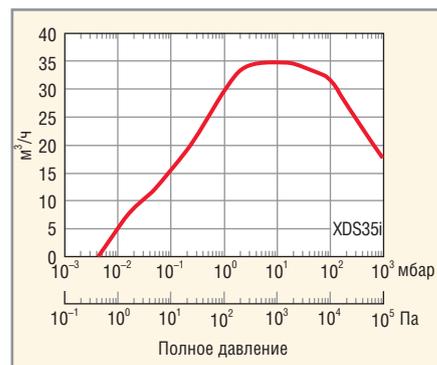


Рис. 3. График быстродействия xDS35i

сос, в нашем случае – это спиральный безмасляный насос xDS35i (XDS) производства компании BOE Edwards (см. рис. 2). XDS является компактным, надёжным и быстродействующим (см. рис. 3) вакуумным насосом, содержащим неподвижную и подвижную спирали. Подвижная спираль приводится в движение с помощью электродвигателя через эксцентриковый кулачок на ведущем валу [9]. Перемещение подвижной спирали, согласующееся с неподвижной, образует серповидные полости. Газ, который попадает в насос через входное отверстие, сжимается вращающейся спиралью и перемещается к центру неподвижной спирали. Сжатый газ входит в выпускной порт около центра неподвижной



## 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 ДИЛЕР НПП «АРБЕЛОС»

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



Рис. 4. Турбомолекулярный насос серии nEXT300



Рис. 5. Внешний вид ПЛК OMRON

Таблица 1. Технические характеристики xDS35i

Параметр	Значение
Производительность (50/60 Гц)	43 м <sup>3</sup> /ч
Максимальная скорость откачки (50/60 Гц)	35 м <sup>3</sup> /ч
Предельное остаточное давление (полное давление)	10 <sup>-2</sup> мбар
Максимальная скорость откачки паров воды (малый поток)	70 г/ч
Максимально допустимое давление на входе (большой поток)	240 г/ч
Мощность двигателя на предельном давлении	520 Вт
Вес, не более	48 кг
Акустический шум, не более	57 дБА

Таблица 2. Технические характеристики nEXT300D

Параметр	Значение
Скорость откачки, л/с:	
– по азоту	340
– по гелию	300
– по водороду	280
Коэффициент компрессии:	
– по азоту	10 <sup>11</sup>
– по гелию	1 × 10 <sup>6</sup>
– по водороду	3 × 10 <sup>5</sup>
Предельное остаточное давление, Па (ISO/SF)	6 × 10 <sup>-6</sup>
Максимальное давление на выходе, Па:	
– по азоту	9,5 × 10 <sup>2</sup>
– по гелию	7 × 10 <sup>2</sup>
– по водороду	2,5 × 10 <sup>2</sup>
Способ охлаждения	воздушное
Номинальная скорость вращения, об/мин	60 000
Вес, кг (не более)	8,5
Уровень шума на расстоянии 1 м, дБА	45

спирали и выпускается из насоса через выходное отверстие. Откачной механизм приводится в действие напрямую трёхфазным электродвигателем [9], управляемым инвертором (обратный преобразователь). Производительный электродвигатель дополнительно оборудован устройством защиты от перегрева и имеет воздушное охлаждение.

Для откачивания газов с большим содержанием паров в насосе предусмотрен газобалласт, препятствующий образованию конденсата паров внутри насоса [9]. Через газобалластный клапан может подаваться сухой воздух или инертный газ на низковакуумную ступень.

Спираль насоса изготовлены из анодированного алюминия, а корпус полностью алюминиевый. Все поверхности, которые контактируют с откачиваемыми газами, не содержат меди, цинка, кадмия. Элементы конструкции изготовлены из фторопластовых эластомеров, нитрила, химически стойких полимеров, никеля и нержавеющей стали. Рабочее уплотнение спирали изготовлено из PTFE композитного материала.

XDC является сухим безмасляным вакуумным насосом (см. табл. 1), все подшипники с их углеводородной смазкой изолированы от вакуумного пространства, что является оптимальным выбором для применения в ИКГВ.

Для увеличения показателя вакуума в ВК-125 устанавливается дополнительный турбомолекулярный насос серии nEXT300 (см. рис. 4). В нём используется проверенная технология сочетания двух типов подшипников (керамического нижнего с масляной смазкой и магнитного верхнего сухого трения), а также применяется улучшенная конструкция ротора с новой молекулярной ступенью откачки, обеспечивающая повышение скорости работы и улучшение показателей сжатия. Встроенный в nEXT300 электропривод работает в диапазоне напряжений 24...48 В постоянного тока и полностью совместим с контроллерами TIC и TAG [9].

Новые технологии, реализованные в насосах nEXT300, делают простым и их обслуживание. Проведение замены масляного картриджа на месте эксплуатации требует 5 мин рабочего времени, а замена нижнего подшипника целиком займёт не более 10 мин. Насосы nEXT300 самостоятельно подают сигнал, когда требуется обслуживание, и указывают на уровень сложности.

Сигнал заключается в последовательном мигании светодиодов и дублируется серией уведомлений через цифровой интерфейс [9].

В нашем случае камера оснащена насосом nEXT300D с турбомолекулярной и молекулярной ступенями откачки (см. табл. 2), гарантирующим совместно с имеющимся форвакуумным насосом предельное остаточное давление в камере 10<sup>-6</sup> мм рт. ст. [9]. Измерения остаточного давления производятся с помощью деформационного вакуумметра серии ACTIVE производства компании BOC Edwards на основе показаний широкодиапазонного датчика линейки WRG. В свою очередь, набор давления в камере осуществляется с помощью игольчатого натекателя с плавной регулировкой LV10K [9].

Управление ВК-125 производится с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК) OMRON (см. рис. 5) с управляющей программой компании «НПФ Технология». Дополнительная опция позволяет подключать ПЛК к сети Ethernet для организации удалённого управления и съёма основных параметров ИКГВ через обычный браузер. ПЛК установлен на корпусе ИКГВ с помощью специального кронштейна, обеспечивающего удобную подстройку положения под конкретного оператора (см. рис. 6).

Управляющая программа (УП) компании «НПФ Технология» позволяет регулировать температуру и давление, задавать параметры работы основных компонентов, выполнять программу термоциклирования и пр. [9].

### Конструкция ВК-125

ИКГВ смонтирована на стальном каркасе со съёмными панелями, окрашенными порошковой краской (см. рис. 1). Рабочий объём установлен сверху и выполнен из нержавеющей стали, обеспечивающей защиту от коррозии. Внутри объёма расположена термоплита со встроенными тепловыми электронагревателями (ТЭН) и испарителем, обеспечивающими её равномерное нагревание (±2°C) и охлаждение (см. рис. 7). Внутри термоплиты также установлены датчики температуры.

Доступ в рабочий объём обеспечивается через дверцу, оснащённую смотровым окном для визуального наблюдения за испытательным процессом. Герметичность закрытой дверцы достигается за счёт использования прижимных замков и силиконо-

го уплотнителя. ИКГВ оснащена двумя технологическими вводами (вакуумными фланцами, оборудованными герметичными разъёмами) для подключения контрольно-измерительного оборудования к испытуемым изделиям (см. рис. 8).

Холодильный агрегат представлен двухкаскадной холодильной установкой – компрессоры фирмы BITZER [9]. Первый каскад (фреон R507) выполняет функцию переохлаждения и обеспечивает охлаждение теплообменника, второй каскад (фреон R23) работает на охладитель (испаритель), расположенный внутри рабочего объёма, а теплообменник является для него конденсатором [9]. Масло в обоих каскадах синтетическое BES-32. Прочие технические характеристики представлены в таблице 3.

### Опыт применения ВК-125 для испытаний

Испытательная лаборатория ООО «НПП «Арбелос» в январе 2017 года получила аттестат на ВК-125 и включила её в состав основного оборудования. Были разработаны методики для

проверки герметичных РЭМ, в частности DC/DC-преобразователей.

Испытаниям по разработанным методикам подверглись изделия серии АЭ-27. Для этого были созданы вспомогательные конструктивные элементы, обеспечивающие надёжное прилегание испытуемых образцов к поверхности термоплиты, используя имеющиеся технологические отверстия. Благодаря возможности перемещения ВК-125 внутри помещения удалось сформировать компактный испытательный стенд и получить ценные данные. В частности, были подтверждены основные технические параметры испытуемых образцов в части воздействия пониженной и повышенной температуры, разреженной атмосферы ( $10^{-3}$  Па) и устойчивости к термоциклированию.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время в российской космической отрасли наиболее остро встал проблема обеспечения качества выпускаемой серийной и опытной продукции.

Специалисты уже привыкли к тому, что новая российская космическая



Рис. 6. Кронштейн для крепления ПЛК



Рис. 7. Рабочий объём ВК-125

РОССИЙСКИЙ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЯ

ПРОИЗВОДСТВО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



Реклама

г. Санкт-Петербург  
телефон: 8 (812) 981-20-80



info@clim-tech.ru  
www.clim-tech.ru



Рис. 8. Технологический ввод

техника может попросту не выйти на расчётную орбиту или перестать работать после половины положенного срока эксплуатации. Решить данную проблему с технической стороны возможно, лишь внедряя комплекс мер, направленных на контроль каче-

Таблица 3. Технические характеристики ВК-125

Параметр	Значение
Объём рабочей камеры, л	125
Диапазон регулирования температуры, °С	-70...+200
Диапазон регулирования давления, мм рт. ст.	10 <sup>-6</sup>
Размеры рабочей камеры (Ш × В × Г), см	50 × 50 × 50
Габаритные размеры (Ш × В × Г), см	80 × 200 × 120
Вакуумный фланец	ISO 160
Система охлаждения	Воздушная
Вес, кг (не более)	500
Энергопитание	380 В ±5% 50/60 Гц

ства, и расширяя программы испытаний космической техники как с помощью моделирования, так и натуральных проверок. Возможно тогда КА будут выводиться из эксплуатации с формулировкой «выработал свой ресурс», а не сопровождаться фразой – «отказ электроники».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Крылов А. Сравнительный анализ орбитальных группировок гражданских спутников связи и вещания России, Китая

и Индии /А. Крылов // Спутниковая связь и вещание. 2012. Специальный выпуск.  
 2. Космические аппараты АО «ИСС» <https://www.iss-reshetnev.ru/spacecraft>  
 3. Таперо К.И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения / К.И. Таперо, В.Н. Улимов, А.М. Членов; Бином. Лаборатория знаний. Москва. 2012.  
 4. Белоус А.И. Космическая электроника / А.И. Белоус, В.А. Солодуха, С.В. Шведов. Техносфера. Москва. 2015.  
 5. Разработка систем космических аппаратов / Под ред. П. Фортескью, Г. Суайнерда, Д. Старка // Пер. с англ. М.: Альпина Паблшер, 2015.  
 6. Афанасьев И. Космические аппараты / И. Афанасьев, Д. Воронцов. 2017. <http://galspace.spb.ru/orbita/14.htm>  
 7. Салахутдинов Г.М. Тепловая защита в космической технике / Г.М. Салахутдинов. Знание. Москва. 1982.  
 8. Воловиков В.В. Исследование тепловых характеристик РЭА с применением программного комплекса ТРИАНА. Монография / В.В. Воловиков, М.Л. Дектерев, А.М. Фень и др. // Под ред. Ю.Н. Кофанова и А.В. Сарафанова. Версия 1.0. Москва. ДМК Пресс. 2014.  
 9. Руководство по эксплуатации ВК-125. ©

**Новости мира News of the World Новости мира**

**В 2017 г. в мире будет 8,4 млрд вещей, подключённых к Интернету**

Gartner даёт прогноз, что в 2017 г. во всём мире будет использоваться 8,4 млрд вещей, подключённых к Интернету – на 31% больше, чем в 2016 г. А к 2020 г. их количество достигнет 20,4 млрд. Общие расходы рынка на устройства и услуги в 2017 г. достигнут почти \$2 трлн.

Главными регионами, обеспечивающими развитие Интернета вещей, являются Китай, Северная Америка и Западная Европа: на

их долю совокупно будет приходиться 67% всей установленной базы IoT в 2017 г.

Потребительский сегмент будет крупнейшим рынком IoT в 2017 г.: здесь будет использоваться 5,2 млрд подключённых вещей, что составляет 63% от их общего количества (см. табл. 1). На долю организаций будет приходиться 3,1 млрд подключённых вещей в 2017 г.

Помимо интеллектуальных счётчиков, в организациях всё чаще будут применяться устройства, предназначенные для конкретных отраслевых вертикалей: датчики на произ-

водственном оборудовании, для электроэнергетических установок и устройства отслеживания местоположения в здравоохранении. В 2017 г. в коммерческом секторе будет насчитываться 1,6 млрд таких устройств. Однако, начиная с 2018 г., общепромышленные IoT-устройства, в частности, предназначенные для оснащения интеллектуальных зданий (системы светодиодного освещения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и охранные системы), выйдут на передний план благодаря массовому выпуску и снижению их стоимости. В 2020 г. установленная база общепромышленных устройств достигнет 4,4 млрд шт., а общее количество специализированных устройств для вертикалей составит 3,2 млрд шт.

На потребительский сегмент придёт большее количество покупаемых IoT-устройств, но организации тратят больше. В 2017 г. коммерческие расходы на IoT-оснащение составят \$964 млрд (см. табл. 2), а потребительские расходы – \$725 млрд. К 2020 г. совокупные расходы на IoT-устройства в обоих сегментах достигнут почти \$3 трлн.

Таблица 1. Установленная база IoT-устройств по сегментам (млн шт.)

Сегмент	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2020 г.
Потребительский	3963	5244,3	7036,3	12 863
Бизнес: межотраслевой	1102,1	1501	2132,6	4381,4
Бизнес: специфический	1316,6	1635,4	2027,7	3171
Итого	6381,8	8380,6	11 196,6	20 415,4

Таблица 2. Расходы на IoT-устройства по сегментам (\$ млн)

Сегмент	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2020 г.
Потребительский	532 515	725 696	985 348	1 494 466
Бизнес: межотраслевой	212 069	280 059	372 989	567 659
Бизнес: специфический	634 921	683 817	736 543	863 662
Итого	1 379 505	1 689 572	2 094 881	2 925 787

# Проблемы использования импортной ЭКБ

**Александр Лановой (г. Реутов, Московская обл.)**

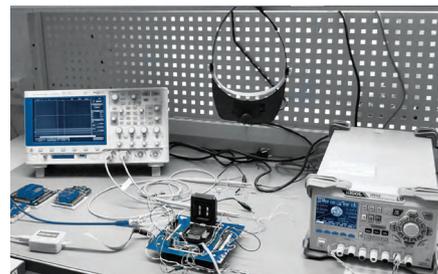
В связи с введением санкций в Россию хлынул поток ЭКБ из стран Азии. В изделиях РЭА военного назначения нормативно-правовыми документами закреплено применение импортной ЭКБ только после проведения сертификационных испытаний.

В настоящее время ни одно из российских предприятий – изготовителей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) как военного назначения, так и гражданского, не обходится без применения электронной компонентной базы иностранного производства (ЭКБ ИП). В связи с введением санкций странами Запада и Европы в Россию хлынул поток ЭКБ ИП из Китая и других стран Азии, качество технологического процесса производства которых проконтролировать невозможно. Это привело к резкому росту количества электро-радиоизделий, не соответствующих технической документации производителей.

Что касается изделий РЭА военного назначения, нормативно-правовыми документами закреплено применение

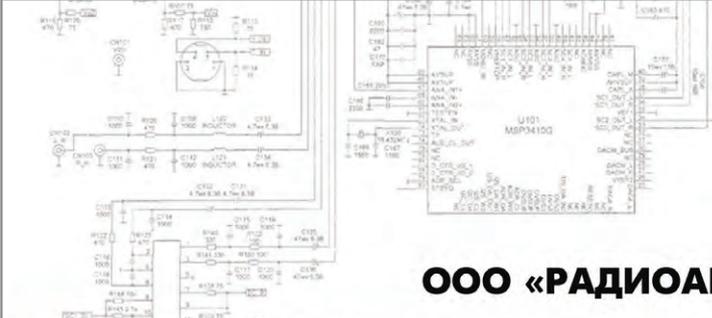
ЭКБ ИП только после проведения сертификационных испытаний. Они включают в себя не только контроль параметров и функционирования в соответствии с технической документацией производителя в нормальных климатических условиях, но и контроль работоспособности после (или во время) воздействия внешних факторов согласно модели. Однако при производстве изделий РЭА гражданского назначения могут возникать непредвиденные временные задержки и расходы материальных средств в результате попадания на производство некачественной ЭКБ ИП.

ООО «РАДИОАВТОМАТИКА» – квалифицированный поставщик ЭКБ ИП. На базе компании действует испытательная лаборатория с высококвалифицированными специалистами в области



проведения сертификационных испытаний ЭКБ ИП, дополнительных испытаний электронной компонентной базы отечественного производства (ЭКБ ОП), комплексных испытаний ЭКБ и экспериментальных исследований.

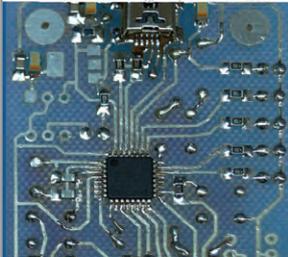
Работы проводятся на современном аттестованном испытательном оборудовании с применением современных высокоточных измерительных приборов. Большой опыт в области поставок электронных компонентов и проведения испытаний позволяет максимально удовлетворять запросы и потребности предприятий в качественных изделиях ЭКБ и предоставлению высококвалифицированной технической поддержки. ©



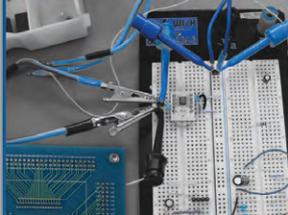
Квалифицированный поставщик ЭКБ  
Аттестованный испытательный центр



## ООО «РАДИОАВТОМАТИКА»








ООО «РАДИОАВТОМАТИКА» 143966 МО (Московская область), г. Реутов, ул. Гагарина, д.33, стр.78  
Тел. +7 (495) 528-13-50 • sale@radioautomatic.ru • WWW.RADIOAUTOMATIC.RU

### Intel разрабатывает новые чипы для носимых устройств будущего

Intel полагает, что лучшие носимые устройства ещё впереди, и хочет изменить наше взаимодействие с вычислительными устройствами, обмен информацией и даже способы развлечения. Intel занимается такими чипами, как Curie для носимых устройств: они будут меньше и быстрее, чем существующие, и помогут сделать носимые устройства более изящными, пишет Computerworld со ссылкой на слова вице-президента и гендиректора New Devices Group в Intel Джерри Ботиста.

Отдел носимых устройств начал свою деятельность в рамках New Devices Group, созданной в 2013 г. Впоследствии Intel приобрела такие компании, как Basis, чтобы поддержать свои носимые устройства, но подразделение не стало прибыльным. На фоне реструктуризации в прошлом году появились сообщения о том, что Intel отказалась от носимых устройств. Но работа продолжается, а усилия компании сосредоточены на выпуске продуктов, дополняющих более широкий круг интересов Intel в таких областях, как серверы и Интернет вещей.

Несмотря на более дисциплинированный подход, стильные продукты и яркие идеи продолжают поступать. На каждой торговой выставке Intel представляет технологии носимых устройств на основе своих чипов и ПО. Например, умные часы, маленькие пуговицы для рубашки, которые могут собирать данные о состоянии здоровья, шлемы, которые могут сделать вождение автомобилей и катание на велосипедах безопаснее. Intel продемонстрировала и свою гарнитуру смешанной реальности Project Alloy, в которой объекты имеют вид плавающих в воздухе изображений. Она очень похожа на Microsoft HoloLens, где используются чипы Intel с более быстрым аппаратным обеспечением.

Недавно программные и аппаратные технологии Intel получили две модели умных часов от New Balance (RunIQ и TAG Heuer Connected Modular 45). Гарнитура Oakley Pace Radar на ПО Intel предлагает фитнес-инструкцию во время тренировок.

Носимые устройства также стимулируют разработку программных приложений, которые можно использовать для аналитики получаемых данных. Например, Intel разрабатывает программные средства, которые привнесут элементы искусственного интеллекта в умные часы.

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

### ЦНИИ «Электроника» оценил объём российского рынка радиоэлектронной продукции

Специалисты ЦНИИ «Электроника» произвели оценку объёма российского рынка радиоэлектронной продукции по итогам 2016 г. По предварительным данным этот показатель вырос до 13,7% и составил 3,3 трлн рублей. При этом объём выпуска товаров предприятиями радиоэлектронной промышленности за год увеличился на 11,4%. Специалисты ЦНИИ «Электроника» учитывали такие товарные категории, как изделия для конечного пользования, электронную компонентную базу, а также материалы и специальное оборудование, необходимые для их производства.

По мнению генерального директора ЦНИИ «Электроника» Алёны Фоминой, в период с 2014 по 2016 гг. на российском рынке радиоэлектронной продукции произошли масштабные изменения. В частности, изменились пропорции импорта и экспорта, а также усложнился процесс получения отечественными предприятиями зарубежного оборудования и технологий.

Так, в 2016 г. был отмечен рост экспорта на фоне снижения импорта. Российская Федерация поставила радиоэлектронную продукцию в 97 стран мира на сумму в \$3,3 млрд. При этом 97,7% в общем объёме поставок занимала продукция военного назначения. Спрос на российскую электронику за прошедший год существенно возрос в таких странах, как Иран, Ангола и Алжир. При этом в Сирийской Арабской Республике, Индии и Венесуэле объём экспортных поставок уменьшился более чем на 50%.

На фоне общего снижения объёмов импорта отмечается рост данного показателя в таких странах, как Франция, Китай и Таиланд. При этом существенно уменьшились импортные поставки из Европы, в том числе из Австрии, Швеции и Италии. Необходимо отметить, что при проведении анализа импортных поставок специалисты ЦНИИ «Электроника» рассматривали только объём прямого импорта радиоэлектронной продукции со стороны организаций радиоэлектронной промышленности, подведомственных Министерству промышленности и торговли Российской Федерации. То есть без учёта внешнеторговых операций, производимых через посредников и ритейлеров, а также индивидуального потребления.

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

### Производитель герконов намерен активнее сокращать издержки

Единственный российский производитель герметизированных магнитоуправляемых контактов (герконов) в России – АО «Рязанский завод металлокерамических приборов» (РЗМКП, входит в холдинг «Росэлектроника») – намерен в 2017 г. провести ряд мероприятий по сокращению издержек производства в целях повышения финансовых показателей.

В 2016 г. предприятие сократило чистую прибыль по сравнению с соответствующим показателем годом ранее в два раза – до 105,9 млн рублей. При этом выручка РЗМКП за год уменьшилась на 16,7% – до 799,9 млн рублей.

Снижение прибыли обусловлено сокращением в первом полугодии 2016 г. объёма заказов на продукцию РЗМКП из стран Юго-Восточной Азии, в первую очередь Китая. В целом мировой рынок герконов, по оценкам предприятия, сократился в первом полугодии прошлого года на 30–35% по сравнению с первым полугодием 2015 г. При этом в 2017 г. рынок демонстрирует устойчивый рост.

Кроме того, размер выручки РЗМКП, которая на 90% формируется за счёт экспорта, напрямую зависит от курсовой стоимости доллара США, снижающейся к рублю на протяжении всего 2016 г.

Также к снижению финансовых показателей РЗМКП привело увеличение себестоимости продукции предприятия в связи с ростом цен на энергоносители и основные материалы.

В целях снижения себестоимости предприятие проводит активные мероприятия по совершенствованию технологических процессов, направленных на снижение расходов основных и вспомогательных материалов, а также затрат на энергетические ресурсы.

В частности, как сообщалось ранее, инженеры РЗМКП разработали технологию изготовления герконов, позволяющую сократить себестоимость производства в 1,5–2 раза. Технология заключается в формировании на поверхности контакт-деталей изделия тонкоплёночных нитридосодержащих покрытий непосредственно в колбе геркона на финишной стадии его изготовления. С этой целью в зазоре между железо-никелевыми контакт-детальными геркона, заполненного азотом, возбуждается импульсный газовый разряд требуемой формы.

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



Выставка  
**ЭЛЕКТРОНИКА**  
Урал

Идеальный контакт  
**«ЭЛЕКТРОНИКА—Урал 2017»**  
III Международная  
специализированная  
выставка  
**ПРИГЛАШАЕМ К УЧАСТИЮ!**

**28–30 ноября**  
Екатеринбург, ЦМТЕ

Проходит одновременно  
с выставкой «Передовые  
Технологии Автоматизации.  
ПТА-Урал 2017»

#### 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:  
**Экспопродэкспо**

Екатеринбург Тел. +7 (343) 376-24-76 • info@pta-expo.ru  
Москва Тел. +7 (495) 234-22-10 • info@pta-expo.ru

# Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32: использование карт памяти SD и MMC в режиме SPI

Олег Вальпа (г. Миасс, Челябинская обл.)

В статье приведён способ подключения карт памяти SD и MMC к микроконтроллерам серии STM32 от компании STMicroelectronics по интерфейсу SPI и примеры программ обращения к карте памяти в режиме SPI.

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что микроконтроллеры серии STM32 от компании STMicroelectronics [1] обладают солидными объёмами памяти в сотни мегабайт, для некоторых проектов этого оказывается недостаточно. Примерами таких проектов являются устройства для записи и воспроизведения звука и изображений. Использование микроконтроллеров в устройствах с графическими дисплеями также требует объёмных хранилищ данных. Для упомянутых устройств требуется память объёмом в десятки гигабайт.

К счастью, в настоящее время в мире уже производятся элементы памяти большого объёма, который измеряется в гигабайтах. При этом они доступны по цене даже для массового потребителя. Наиболее подходящими элементами для проектов с микроконтроллерами являются карты памяти SD (Secure Digital).

## ОБЗОР КАРТ ПАМЯТИ

Карты памяти SD представляют собой миниатюрные прямоугольные плоские

устройства с контактными площадками для подключения к интерфейсу аппаратуры. Они предназначены для многократной записи и хранения информации. Эти карты памяти были разработаны для использования в портативных устройствах. В настоящее время они активно используются в цифровых фотоаппаратах, видеокамерах, мобильных телефонах, смартфонах, планшетах, электронных книгах, GPS-навигаторах, в некоторых игровых приставках и т.п.

В пластиковом корпусе этих карт памяти размещается флэш-память и специализированный контроллер (см. рис. 1).

Первые карты памяти SD появились в 1999 г. В настоящее время существуют три разновидности карт памяти SD, отличающиеся по своим габаритным размерам и назначению контактов. Это карты SD, mini SD и micro SD. На рисунке 2 представлены все три типа данных карт памяти, с указанием их размеров.

Прототипом карт памяти SD послужили карты памяти MMC (Multi Media Card), появившиеся на свет в 1996 г. Раз-

меры такой карты составляют  $24 \times 32 \times 1,5$  мм, напряжение питания – 3,3 В, а ёмкость памяти – от 64 КБ до 4 ГБ. Карта памяти MMC совместима с разработанной позднее SD-картой и может использоваться вместо неё. Обратная замена не всегда возможна, так как SD-карты толще карт MMC и механически не входят в слот для MMC-карт.

Существуют четыре поколения карт памяти SD-формата, различающиеся объёмом данных:

- SD 1.0 – от 8 МБ до 2 ГБ;
- SD 1.1 – до 4 ГБ;
- SDHC – до 32 ГБ;
- SDXC – до 2 ТБ.

Карты памяти SD могут поддерживать несколько режимов обмена данными. Одним из таких режимов является относительно простой и открытый интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface). Данный режим обмена данными поддерживают карты памяти SD и MMC. Назначение контактов для всех карт памяти приведено на рисунке 3.

Интерфейс карт памяти включает в себя от 7 до 11 контактов. Некоторые из этих контактов не используются и зарезервированы. Назначение контактов карт памяти приведено в таблице 1.

Питание карт памяти осуществляется от источника постоянного тока с выходным напряжением 3,3 В. В состоянии покоя карта памяти потребляет

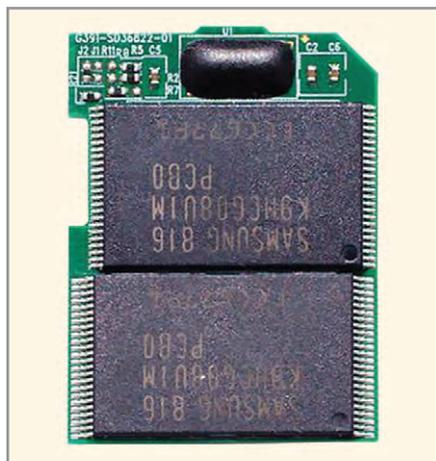


Рис. 1. Устройство карты памяти

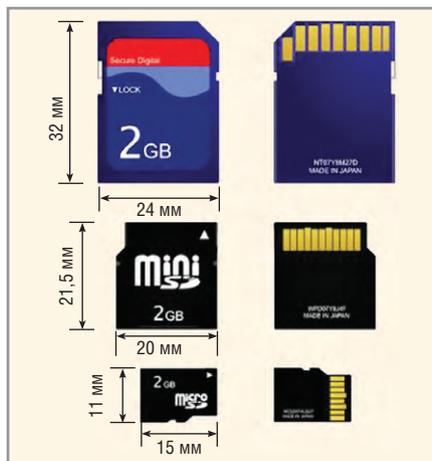


Рис. 2. Типы карт памяти

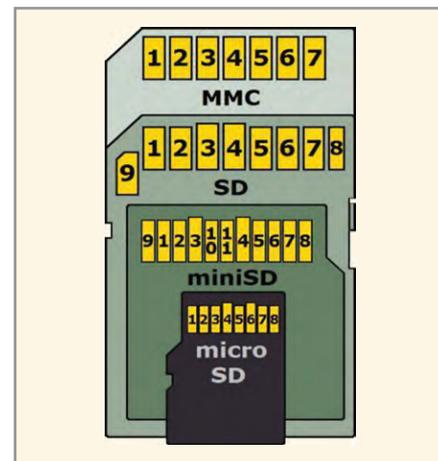


Рис. 3. Назначение контактов карт памяти

ток не более 1 мА, а при передаче данных – от 20 до 100 мА. Скорость передачи данных по интерфейсу SPI может достигать 12 Мбод.

На рисунке 4 приведена структурная схема карты памяти SD. На этой схеме показано устройство карты памяти и состав внутренних регистров, доступных для чтения по интерфейсу карты.

**Подключение карты памяти к микроконтроллеру**

Подключить SD-карту к микроконтроллеру можно несколькими способами, но наиболее предпочтительным является подключение карты к выводам SPI, поскольку данный способ позволяет задействовать аппаратные средства микроконтроллера и готовые библиотеки для работы с SPI-интерфейсом.

Режим SPI является альтернативным режимом работы с картами памяти MMC и SD и более простым, по сравнению с использованием протокола SD. Карту памяти можно подключить к большинству микроконтроллеров через встроенный в них универсальный порт SPI или порт GPIO (универсальный порт ввода/вывода). Поэтому режим SPI прекрасно подходит для недорогих встраиваемых приложений.

Схема подключения карты памяти SD к микроконтроллеру приведена на рисунке 5.

**Протокол обмена данными**

Рассмотрим протокол обмена данными с картой памяти SD в кратком варианте, включающем в себя основную и необходимую для понимания процессов обмена информацию. Подробное описание протокола изложено в [2].

В режиме SPI данные передаются последовательно по байтам. Наиболее подходящим режимом SPI для работы с картами памяти MMC и SD является режим SPI 0, формирующий положительный синхроимпульс, защёлкивание по переднему фронту и сдвиг по заднему фронту.

Кадр команды, передаваемый от микроконтроллера к карте, имеет фиксированную длину в 6 байт. Формат обмена данными между микроконтроллером и картой памяти по интерфейсу SPI приведён на рисунке 6.

В ответ на полученную команду карта памяти передаёт ответ с условным названием R1, R2 или R3. Поскольку процедура обмена данными тактируется синхроимпульсами, генерируемыми микроконтроллером, последний должен

формировать синхронизацию и продолжать чтение байтов, пока не получит действительный ответ. Время ответа на команду обозначено на диаграмме (см. рис. 6) символами N\*8 и составляет от 0 до 8 байт для карт памяти SD, и от 1 до 8 байт для карт MMC. Сигнал CS должен удерживаться в состоянии низкого уровня в течение всей транзакции, включающей в свой состав команду, ответ и передачу данных, если таковые имеются. Код CRC в режиме SPI не используется, но его присутствие с произвольным значением в кадре команды необходимо для полного заполнения пакета посылки. При необходимости достоверный код CRC генерируется с помощью полинома  $x^{16}+x^{12}+x^5+1$  по стандарту CCITT.

**Команды режима SPI**

В режиме SPI для всех команд отведено 6 бит, поэтому количество команд

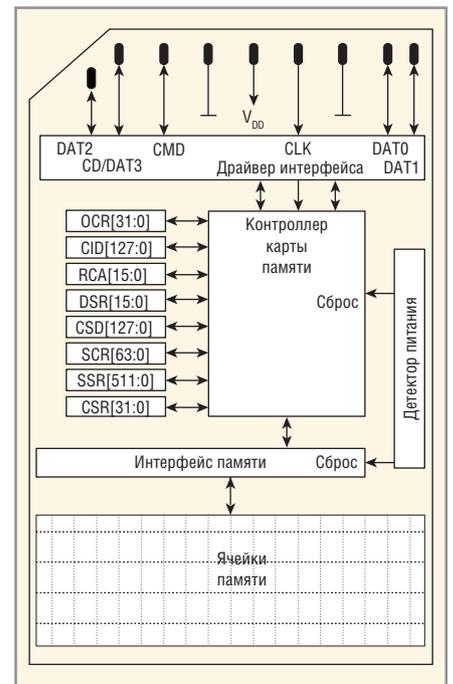


Рис. 4. Структурная схема карты памяти SD

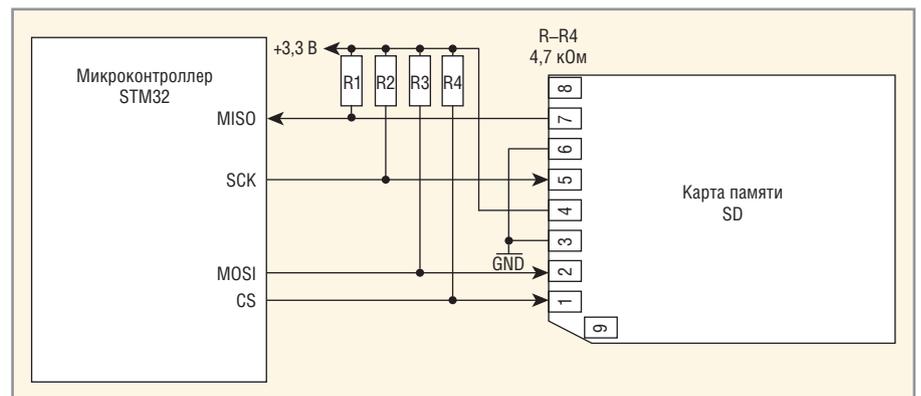


Рис. 5. Схема подключения карты памяти SD к микроконтроллеру

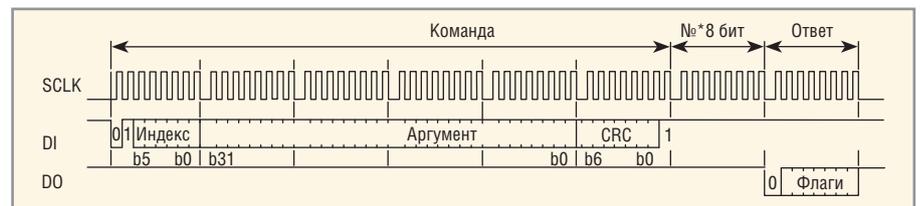


Рис. 6. Формат обмена данными по SPI

Таблица 1. Назначение контактов карт памяти

Вывод				Название вывода	Тип вывода	Назначение
MMC	SD	Mini SD	Micro SD			
1	1	1	2	CS	Вход	Выбор режима SPI (инверсный сигнал)
2	2	2	3	DI(MOSI)	Вход	Ввод данных SPI в последовательном режиме
3	3	3	-	GND	-	Общий
4	4	4	4	VDD	-	Питание от 2,7 до 3,6 В
5	5	5	5	SCK	Вход	Синхронизация SPI
6	6	6	6	GND	-	Общий
7	7	7	7	DO(MISO)	Выход	Вывод данных SPI в последовательном режиме
-	8	8	8	NC	-	Не используется
-	9	9	1	NC	-	Не используется
-	-	10	-	NC	-	Зарезервировано
-	-	11	-	NC	-	Зарезервировано

не может превышать 64. Все команды имеют условное обозначение CMD с номером от 0 до 63, который имеют индексом команды. Кроме того, каждой команде назначено индивидуальное имя в виде аббревиатуры, например GO\_IDLE\_STATE. Первый байт пакета команды состоит из комбинации двух бит 0 и 1 начала команды и шести бит индекса команды. Например, для команды CMD0 первый байт будет иметь значение 0x40, а для команды CMD59 – 0x7B. В таблице 2 приведён краткий перечень команд, используемых для чтения, записи и инициализации карты памяти. Более детальную информацию по всем командам можно найти в спецификации [2].

### ОТВЕТ КАРТЫ ПАМЯТИ В РЕЖИМЕ SPI

Существует три типа ответа карты памяти на команду. Эти ответы имеют следующие условные обозначения: R1, R2 и R3. Тип ответа зависит от принятой команды. Для большинства команд возвращается байт ответа R1. Назначение бит в байте ответа R1 приведено в таблице 3.

Ответ 0x00 означает успешное выполнение команды. Если произойдёт какая-нибудь ошибка, будет установлен соответствующий бит ответа R1.

Ответ R2 возвращается только для команды запроса регистра статуса CMD13. Он состоит из двух байт. Его первый байт представляет собой ответ R1. Назначение всех бит второго байта ответа R2 приведено в таблице 4.

Ответ R3 возвращается только для команды CMD58. Его первый байт – это ответ R1, за которым следует содержимое регистра OCR карты памяти, состоящее из четырёх байт.

Некоторые команды требуют для ответа больше времени, чем N\*8. Такие команды возвращают ответ R1b, который представляет собой ответ R1 и следующий за ним флаг занятости, т.е. на линии DO интерфейса удерживается низкий уровень до тех пор, пока выполняется внутренний процесс. Микроконтроллер должен ждать окончания процесса, пока не получит байт с содержимым, равным 0xFF.

### АКТИВАЦИЯ РЕЖИМА SPI

При подаче питания на карту памяти происходит её аппаратный сброс и она переключается в режим обмена информацией SD. Чтобы переключить карту в режим SPI, требуется выполнить ряд процедур.

После подачи питания на карту памяти необходимо сделать паузу в несколько миллисекунд. Затем требуется установить на линиях DI и CS высокий уровень и подать не менее 74 импульсов на вход SCK. После этого карта памяти будет готова принять команду в режиме SPI.

### ПРОГРАММНЫЙ СБРОС

Чтобы осуществить программный сброс карты памяти, нужно передать команду CMD0 при низком уровне на линии CS. После обнаружения команды CMD0 карта опрашивает сигнал CS. Если уровень сигнала CS низкий, т.е. активный, то карта входит в режим SPI. Команда CMD0 должна иметь корректный код CRC, значение которого должно быть равным 0x95 (является правильным только для команды CMD0). Т.е. следует отправить карте памяти по интерфейсу SPI следующий пакет данных: 0x40, 0x0, 0x0, 0x0, 0x0, 0x95. После того как карта памяти переключится в режим SPI, проверка CRC отключается и значение CRC не анализируется картой памяти в дальнейшем. Если команда CMD0 принята успешно, карта войдёт в состояние ожидания (Idle) и пошлёт ответ R1 с установленным в единицу битом In Idle State, т.е. R1 примет значение 0x01.

### ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ КАРТЫ ПАМЯТИ

В состоянии ожидания карта принимает только команды CMD0, CMD1

Таблица 2. Команды карты памяти SD в режиме SPI

Индекс команды	Аргумент	Ответ	Аббревиатура	Описание
CMD0	Нет	R1	GO_IDLE_STATE	Программный сброс карты памяти
CMD1	Нет	R1	SEND_OP_COND	Активировать процесс инициализации
ACMD41*	Нет	R1	APP_SEND_OP_COND	Начать процесс инициализации (только для карт SD)
CMD9	Нет	R1	SEND_CSD	Считать регистр CSD
CMD10	Нет	R1	SEND_CID	Считать регистр CID
CMD12	Нет	R1b	STOP_TRANSMISSION	Прекратить чтение данных
CMD13	Нет	R2	SEND_STATUS	Запрос регистра статуса
CMD16	Данные [31:0]	R1	SET_BLOCKLEN	Задать длину блока в байтах
CMD17	Адрес [31:0]	R1	READ_SINGLE_BLOCK	Считать блок данных
CMD18	Адрес [31:0]	R1	READ_MULTIPLE_BLOCK	Считать множество блоков
CMD23	Данные[15:0]	R1	SET_BLOCK_COUNT	Задать количество блоков для обмена (только для карт MMC)
ACMD23*	Данные [22:0]	R1	SET_WR_BLOCK_ERASE_COUNT	Задать количество блоков для предварительного стирания (только для карт SD)
CMD24	Адрес [31:0]	R1	WRITE_BLOCK	Записать блок
CMD25	Адрес [31:0]	R1	WRITE_MULTIPLE_BLOCK	Записать множество блоков
CMD55*	Нет	R1	APP_CMD	Команда расширения
CMD58	Нет	R3	READ_OCR	Считать регистр OCR
CMD59	Данные [0]	R1	CRC_ON_OFF	1 – включить, или 0 – выключить анализ CRC

\* Команда ACMDn состоит из последовательности команд CMD55 и CMDn

Таблица 3. Назначение бит в байте ответа R1

Бит	Имя или значение	Описание
0	In Idle State	Карта находится в состоянии ожидания и запущен процесс инициализации
1	Erase Reset	Последовательность команд стирания была очищена
2	Illegal Command	Был обнаружен недопустимый код команды
3	Communication CRC Error	Проверка CRC последней команды ошибочна
4	Erase Sequence Error	Произошла ошибка в последовательности команд стирания
5	Address Error	Ошибка выравнивания адреса, который не совпадает с длиной блока, использованного в команде
6	Parameter Error	Аргумент команды (например, адрес, длина блока) находится за пределами допустимого диапазона для этой карты
7	0	Всегда нулевой бит

Таблица 4. Назначение бит во втором байте ответа R2

Бит	Имя или значение	Описание
0	Card is Locked	Карта памяти заблокирована
1	WP Erase Skip   Lock/Unlock CMD Failed	Попытка стирания защищённого от записи блока или команда блокировки/разблокировки не удалась
2	Error	Во время выполнения команды произошла неизвестная ошибка
3	CC Error	Внутренняя ошибка контроллера карты памяти
4	Card ECC Failed	Неудачная попытка исправления данных
5	WP Violation	Нарушение защиты записи. Команда пыталась записать блок, защищённый от записи
6	Erase Parameter	Неправильный выбор области для стирания блоков данных
7	Out of Range   CSD Overwrite	Выход за диапазон или карта переполнена

и CMD58. Любые другие команды будут отклонены. Когда карта обнаруживает команду CMD1, она начинает инициализацию. Чтобы определить, завершена ли инициализация, микроконтроллер должен повторять посылку команды CMD1 и проверять ответ. Как только карта успешно инициализировалась, бит In Idle State в ответе R1 будет сброшен. Процесс инициализации может занять несколько сотен миллисекунд. Чем больше объём карты памяти, тем больше времени требуется на её инициализацию. Команды чтения и записи начнут восприниматься картой памяти после окончания инициализации. В это время можно считать содержимое регистров OCR и CID для подтверждения диапазона рабочего напряжения, объёма карты или другого необходимого параметра карты памяти.

Команда CMD1 воспринимается не всеми типами карт памяти SD. Поэтому, если команда CMD1 была отклонена картой, или если вышло время ожидания при опросе состояния покоя, необходимо выполнить повторную передачу команды, но уже в формате ACMD41.

Таблица 5. Формат пакета данных

Маркер данных Data Token	Блок данных Data Block	Контрольная сумма CRC
1 байт	От 1 до 2048 байт	2 байта

### ОБМЕН ДАННЫМИ С КАРТОЙ ПАМЯТИ

В процессе обмена данными с картой памяти, после ответа на команду может быть получен один или несколько пакетов данных. Пакет данных состоит из маркера данных (DataToken), блока данных (Data Block) и контрольной суммы CRC. Формат пакета данных приведён в таблице 5.

Существует три значения маркера данных, означающих следующее:

- 0xFE – маркер данных для команд CMD17, CMD18 и CMD24;
- 0xFC – маркер данных для команды CMD25;
- 0xFD – маркер останова транзакции Stop Tran для команды CMD25.

Последний маркер Stop Tran в данном списке означает конец многоблочной записи и используется в виде одиночного байта без блока данных и CRC.

### ОДНОБЛОЧНОЕ ЧТЕНИЕ

Одноблочное чтение инициируется командой CMD17. Обмен данными между картой памяти и микроконтроллером будет производиться стандартными блоками по 512 байт. Аргументом команды является адрес начала блока, содержимое которого следует читать. Адресация карты побайтная, начиная с нуля, но считывать данные можно только блоками. Адресом блока служит первый его байт. Для блоков размером в 512 байт нулевой блок имеет адрес 0x0000, первый блок – 0x0200, второй блок – 0x400 и т.д. В картах памяти типа SDHC адресация поблочная, и адресом блока служит его номер.

В ответ на команду CMD17 карта выдаёт ведущему контроллеру пакет данных. После обнаружения правильного маркера данных микроконтроллер принимает следующий за ним блок данных и два байта CRC, которые



## Разъёмы Bulgin для промышленной автоматизации

### Данные, сигналы, питание

- M5, M8, M12, M16, M23 серии
- A, B и D кодирование для всех серий
- Степень защиты IP67 от влаги и пыли
- Винтовой запирающий механизм промышленного стандарта
- Число контактов от 3 до 12

### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ BULGIN

**ProCHIP**  
POWERED BY ProSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

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



Реклама

**Листинг 1**

```

// Подключение библиотек
#include "stm32f10x.h"
// Определение макрокоманд
#define GO_IDLE_STATE 0 // Программный сброс карты
#define SEND_IF_COND 8 // Проверка напряжений питания
#define READ_SINGLE_BLOCK 17 // Чтение блока данных
#define WRITE_SINGLE_BLOCK 24 // Запись блока данных
#define SD_SEND_OP_COND 41 // Инициализация карты
#define APP_CMD 55 // Главная команда из ACMD команд
#define READ_OCR 58 // Чтение регистра OCR
#define CS_ENABLE GPIOA->BSRR = GPIO_BSRR_BR4; // Сигнал CS=0
#define CS_DISABLE GPIOA->BSRR = GPIO_BSRR_BS4; // Сигнал CS=1
// Определение структур
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure; // Структура для настройки пор-
тов ввода-вывода
USART_InitTypeDef USART_InitStructure; // Структура для настройки
порта UART
// Определение переменных
uint8_t SDHC; // Глобальная переменная для типа карты
uint8_t Buff[512]; // Буфер данных для SD карты
// Главный модуль программы
int main(void)
{
    unsigned long address,i;
    unsigned char c;
    init(); // Инициализация портов микроконтроллера
    // Инициализация карты памяти SD
    delay(1000000); // Пауза
    if(SD_init()==0) send_Uart_str(USART1,"Карта SD подключена\n");
    else send_Uart_str(USART1,"Карта SD не обнаружена\n");
    while(1) // Бесконечный цикл
    {
        send_Uart_str(USART1,"Введите команду(w-запись r-чтение):");
        c=getch_Uart(USART1); // Читать байт из порта UART
        while(getch_Uart(USART1)!=13) {} // Ждать ввода <enter>
        send_Uart_str(USART1,"\nВведите адрес блока SD карты:");
        buff_clear(); // Очистка буфера
        address=read_int_uart(USART1); // Принять адрес блока SD карты
        send_Uart_str(USART1,"\nВведен адрес:");
        send_int_uart(USART1,address); // Вывод введенного адреса для про-
        верки
        send_Uart(USART1,'\n');
        if(c=='w') // Если принята команда записи карты памяти
        {
            send_Uart_str(USART1,"Введите не более 512 символов завершив ввод
            клавишей Enter\n");
            read_str_uart(USART1,Buff); // Принять строку с порта UART
            i=0;
            while((i<512)&&(Buff[i]!=0)) i++; // Найти конец текстовой строки
            send_Uart_str(USART1,"Длина текста=");
            send_int_uart(USART1,i); // Вывести длину текстовой строки
            send_Uart(USART1,'\n');
            // Запись данных из буфера на SD карту
            if(SD_WriteSector(address, Buff)==0) send_Uart_str(USART1,"Запись
            завершена\n");
            else send_Uart_str(USART1,"Запись не удалась\n");
        }
        else // Чтение блока SD карты в буфер
        {
            if(SD_ReadSector(address, Buff)==0) send_Uart_str(USART1,"Чтение
            завершено\n");
            else send_Uart_str(USART1,"Чтение не удалось\n");
            // Вывод содержимого буфера в порт UART
            for(i=0;i<512;i++) send_Uart(USART1,Buff[i]);
        }
    }
}

```

необходимо принять, даже если CRC не используется. По умолчанию размер блока равен 512 байт. Размер блока можно изменить командой CMD16, но это применимо не для всех типов карт памяти. Если во время операции чтения произошла какая-нибудь ошибка, вместо пакета данных будет возвращён маркер ошибки, состоящий из одного байта. Формат данных маркера ошибки приведён в таблице 6.

**Многоблочное чтение**

Существует возможность прочитать из карты памяти несколько блоков данных подряд, начиная с заданного адреса. Для данной процедуры используется команда многоблочного чтения CMD18. Для карт MMC, перед командой чтения CMD18, можно с помощью команды CMD23 задать количество передаваемых блоков. Если количество блоков не задано, то будет инициировано неограниченное многоблочное чтение. Т.е. операция чтения будет продолжаться до тех пор, пока микроконтроллер не прервёт её командой CMD12. Получаемый сразу же после передачи команды CMD12 байт является дополняющим, поэтому его не нужно учитывать. После этого байта следует ответ на команду.

**Одноблочная запись**

Для одноблочной записи данных в карту памяти используется команда CMD24. После её получения карта памяти передаёт пакет данных после небольшой задержки, составляющей время передачи одного или нескольких байт. Формат пакета для одноблочной записи такой же, как у команды блочного чтения. После передачи пакета карта сразу же выдаёт ответ на данные (Data Response), за которым следует флаг занятости. Большинство карт памяти не могут изменять размер записываемого блока, поэтому он является фиксированным и составляет 512 байт.

**Многоблочная запись**

С помощью команды многоблочной записи CMD25 можно записать последовательность из нескольких блоков, начиная с заданного адреса. Если перед этой командой число передаваемых блоков не было задано с помощью команды CMD23 (только для карт MMC, или ACMD23 – для карт SD), транзакция будет инициирована как неограниченная многоблочная запись, т.е. операция записи будет продолжаться, пока

Таблица 6. Формат данных маркера ошибки

Бит	Имя	Назначение
0	Error	Во время операции произошла ошибка
1	CC Error	Внутренняя ошибка контроллера карты памяти
2	Card ECC Failed	Неудачная попытка исправления данных
3	Out of Range	Выход за диапазон
4	Card is Locked	Карта памяти заблокирована
5	0	Всегда нулевой бит
6	0	Всегда нулевой бит
7	0	Всегда нулевой бит

микроконтроллер не прервёт её передачей маркера Stop Tran.

### ЧТЕНИЕ РЕГИСТРОВ CSD И CID КАРТЫ ПАМЯТИ

Команда CMD9 чтения регистра CSD (Card Specific Data) и команда CMD10 чтения регистра CID (Card Identification Data) подобны одноблочному чтению, за исключением длины блока – этот параметр отсутствует. Содержимое регистров CSD и CID передаётся ведущему контроллеру в виде 16-байтных блоков данных.

Регистр CID содержит данные, по которым можно идентифицировать карту памяти. К этим данным относятся: серийный номер, ID производителя, дата изготовления и т.д.

Регистр CSD содержит информацию о таких характеристиках карты памяти, как размера блока карты памяти, потребление в режиме чтения и записи и т.п.

Регистр OCR (Operation Conditions Register) содержит информацию о напряжении питания карты памяти, типе питания карты памяти, статусе процесса инициализации карты и т.п.

Более детальную информацию о регистрах CSD и CID можно найти в спецификации [2].

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В качестве демонстрационного примера рассмотрим небольшую программу (см. Листинг 1). С помощью этой программы можно организовать ручную запись и чтение строк текста в карту памяти по заданному адресу блока в режиме диалога. Данная программа организует простой интерфейс с человеком через порт UART. Подключив этот порт к компьютеру и используя любую подходящую терминальную программу, можно управлять процессом записи и чтения данных в карту памяти. Данная программа снабжена подробными комментариями, позволяющими понять её работу.

В приведённой программе использован набор функций для настройки

портов и обращения с картой памяти. Данный набор функций приведён в листинге 2 (см. дополнительные

материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)).

С помощью приведённого набора функций можно создавать программы, использующие карты памяти в качестве энергонезависимых носителей произвольных данных. Такие задачи очень часто возникают при разработке современных микропроцессорных устройств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.st.com](http://www.st.com).
2. [www.sdcard.org/downloads/pls/pdf/part1\\_500.pdf](http://www.sdcard.org/downloads/pls/pdf/part1_500.pdf).



## Магнитодиэлектрики MICROMETALS

Применение сердечников Micrometals гарантирует:

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



**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса  
ТЕЛ.: (495) 232-2522 / INFO@PROCHIP.RU / WWW.PROCHIP.RU



Реклама

# Реле компании Gigavac в различных условиях эксплуатации

Денис Яковлев (Москва)

В статье демонстрируются особенности и различия вакуумных и газонаполненных реле – положительные и отрицательные стороны использования этих устройств при различных условиях эксплуатации.

Как известно, высоковольтными называются реле, которые коммутируют цепи, рассчитанные на высокие токи и напряжения выше 500 В.

Именно благодаря способности управлять большими мощностями, реле компании Gigavac впервые были применены в радиочастотном оборудовании аэрокосмического назначения. В этой аппаратуре требуются малогабаритные реле, имеющие низ-

кие радиочастотные потери, обладающие превосходными диэлектрическими свойствами на высоких напряжениях и способные работать на больших высотах под влиянием жёстких климатических условий.

Широкое применение реле Gigavac нашли в медицинском оборудовании и различных коммерческих изделиях. Внешний вид реле Gigavac показан на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид реле Gigavac



Рис. 2. Высоковольтное реле с вращаемой арматурой

Таблица 1. Поведение реле с контактами из различных материалов в зависимости от условий эксплуатации

Условия эксплуатации	Газонаполненные реле (газ SF6)		Вакуумированные реле	
	вольфрам/молибден	медь	вольфрам/молибден	медь
Только включение нагрузки (постоянный ток)	Хорошее, но газ увеличивает сопротивление контактов, приводя к снижению (по сравнению с вакуумом) максимального тока через контакты	Лучше, чем с более прочными контактами, но газ увеличивает сопротивление контактов, приводя к снижению (по сравнению с вакуумом) максимального тока через контакты	Хорошее, но максимальные токи ниже, чем для медных контактов	Отличное
Только включение нагрузки (радиочастотные сигналы)	Не применяется. Газ будет вносить помехи в сигналы высокой частоты		Хорошее, но максимальные токи ниже, чем для медных контактов	Отличное
Включение и отключение нагрузки (не относится к герконовым реле Gigavac)	Хорошее для включения нагрузки, но для отключения – только на малых токах		Самое лучшее	Плохое, использовать только при очень малых токах
Только включение нагрузки	Отличное	Лучше, но не такое хорошее, как при более прочных контактах	Хорошее, но максимальные токи ниже, чем для медных контактов	Плохое, использовать только при очень малых токах
Длительные периоды без эксплуатации или оборудование, в котором требуется низкий стабильный ток утечки	Отличное, только реле, приведённые в графе «Только включение нагрузки»	Лучше, чем с более прочными контактами, но газ увеличивает сопротивление контактов, приводя к снижению (по сравнению с вакуумом) максимального тока через контакты	Хорошее, но контакты могут шуметь на больших напряжениях	Плохое, как правило, контакты будут шуметь на больших напряжениях

Для повышенной электрической прочности изоляции высоковольтные реле делают вакуумными или газонаполненными, так как диэлектрическая прочность вакуума или инертного газа выше, чем воздуха. В вакууме или в инертной среде не происходит окисления контактов, что открывает возможность применения медных или родиевых контактов, способных выдерживать большие токи.

Для применения в изделиях, где требуется «горячая коммутация» при малых токах, компания Gigavac разработала вакуумные реле с контактами, выполненными из высокопрочных материалов, таких как вольфрам и молибден.

Таблица 1 даёт представление об электрических свойствах материалов контактов, а также об их поведении при различных условиях эксплуатации.

Используя современные технологические процессы герметизации, созданные для вакуумных реле, и прочнейшие материалы контактов для «горячей» коммутации, Gigavac заполнил эти же самые реле газом марки SF6. Получившиеся реле идеальны при больших бросках тока и разрядах ёмкостных нагрузок, которые обычно происходят при работе аппаратуры тестирования на электростатической пробой, оборудования для проверки кабелей и сердечных дефибрилляторов.

Газонаполненные реле также обеспечивают низкий стабильный ток утечки для приборов, чувствительных к флуктуациям тока, особенно через группы открытых контактов в течение длительных периодов времени. Для работы в таких условиях используются две наиболее широко применяемые конструкции высоковольтных реле (см. рис. 2 и 4).

Конструкция реле с вращаемой арматурой (см. рис. 2) обеспечивает высокую механическую надёжность и адаптацию к большому числу конфигураций контактов. Контакт приводится в действие благодаря движению подпружиненной арматуры, когда на катушку подано электропитание. Катушка (в сборе) конструктивно является внешним элементом по

# GIGAVAC

передовые технологии коммутации



Реклама

Официальным представителем и дистрибьютором  
продукции Gigavac в России и СНГ  
является фирма ЗАО "АСС"

+7 (495) 925-50-12  
info@escltd.ru

escltd.ru  
www.gigavac.com  
гигавак.рф



Рис. 3. Процесс замены катушки в реле Gigavac

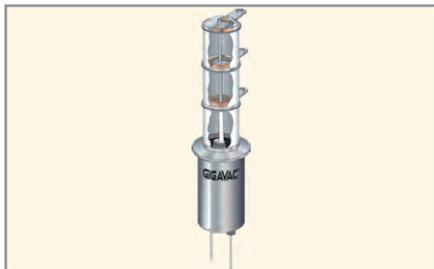


Рис. 4. Высоковольтное реле с диафрагмой



Рис. 5. Контактор HX460



Рис. 6. Внешний вид контакторов Gigavac

отношению к вакуумной колбе и легко заменяется (см. рис. 3).

В конструкции реле с диафрагмой (см. рис. 4) используется молибденовая диафрагма, позволяющая металлическому стержню перемещаться поступательно. Стержень проходит через отверстие в первом контакте реле и электрически соединяется с ним. Как только стержень достигает второго контакта и перестаёт двигаться, контакты соединяются. Эта конструкция контактов используется в подавляющем большинстве реле фирмы Gigavac.

В таблице 2 приведены характеристики реле Gigavac.

Высоковольтные реле Gigavac могут использоваться как для «холодной», так и для «горячей» коммутации. Как

Таблица 2. Характеристики реле Gigavac

Наименование модели реле	«Горячая» коммутация	Уровень максимального рабочего напряжения, кВ/ максимальный ток, А (для различных диапазонов частот)			
		60 Гц	2,5 МГц	16 МГц	32 МГц
GR3 BJA335	Нет	1,5/3	1,5/3	1,5/3	1,5/3
GR6 CBA335	Нет	2/6	2/6	2/6	2/6
GR2DNA	Нет	3/2	3/2	3/2	3/3
GH5	При замыкании	3,5/8	-/-	-/-	-/-
GH3	Да	3,5/18	-/-	-/-	-/-
GH1	Нет	3,5/25	2,5/14	2/9	1,5/7
GR6 FNA218	Нет	5/8	5/8	5/6	5/6
G45C	Да	5/20	4,5/16	3,5/10	2,8/8
G41A / G41B / G41C	Да	5/30	4,5/24	3,5/16	2,8/12
GR6HBA318	Нет	7/10	7/10	7/10	7/10
G17	При замыкании	7,5/10	-/-	-/-	-/-
GR6JNB218	Нет	8/8	8/8	8/6	8/6
GH6	С ограничениями	8/8	-/-	-/-	-/-
G12 / G12L	Да	8/10	5/7	3/3	2/2
G47A / G47B	Да	8/12	7,5/10	7/5	5/3
GH4	Да	8/15	-/-	-/-	-/-
GH2	Нет	8/25	-/-	-/-	-/-
GR5LTA / GR5LTB	Да	10/5	-/-	-/-	-/-
G81AG81B	Да	10/5	-/-	-/-	-/-
G81C	Да	10/5	-/-	-/-	-/-
G43A / G43B / G43C	Да	10/25	7/20	6/13	4/10
GR5MTA	Да	15/5	-/-	-/-	-/-
G13 / G13L	При замыкании	15/10	-/-	-/-	-/-
G15 / G15L	При замыкании	15/12	-/-	-/-	-/-
G8 / G8L	С ограничениями	15/30	-/-	-/-	-/-
G18	Да	15/30	-/-	-/-	-/-
G2 / G2L	Нет	15/50	12/30	9/17	7/10
G9	Да	15/75	13/35	10/22	-/-
G23	Нет	15/75	13/35	10/22	-/-
G24	При замыкании	20/30	-/-	-/-	-/-
G53	Нет	20/150	15/70	10/45	-/-
G38	При замыкании	25/15	-/-	-/-	-/-
G25	Да	25/18	-/-	-/-	-/-
G62 / G62L	Да	25/18	-/-	-/-	-/-
G28	При замыкании	25/30	-/-	-/-	-/-
G32	Да	25/45	-/-	-/-	-/-
G22	Да	25/65	-/-	-/-	-/-
G50	Да	25/110	-/-	-/-	-/-
G52	С ограничениями	25/150	15/120	10/75	7/30
G20	Нет	28/110	22/60	12/40	10/30
G61 / G61L	При замыкании	35/10	-/-	-/-	-/-
G60C / G60L	При замыкании	35/12	-/-	-/-	-/-
G64C / G64L	При замыкании	50/10	-/-	-/-	-/-
G71 / G71L	При замыкании	70/10	-/-	-/-	-/-

известно, при «холодной» коммутации питание выключается до перемещения контактов, при «горячей» – реле могут коммутировать нагрузку в тот момент, когда через неё проходит ток. При выборе реле два этих параметра необходимо учитывать.

В цепях постоянного тока до 1500 А при относительно невысоких напряжениях до 1500 В наиболее эффективным было бы использование контакторов Gigavac. Указанные нагрузки являются максимальными и с ними справится только контактор HX460 (см. рис. 5).

Для решения повседневных задач в коммутации напряжений 100–800–1200 В и токов 20–200–800 А всегда можно положиться на управляемые контакторы GX11, GV200, HX21, P105

или ручные выключатели серии HBD (см. рис. 6).

Компания Gigavac регулярно проводит модернизацию своих линеек реле и контакторов с целью улучшения их характеристик, а также постоянно работает над созданием новых типов продукции.

Кроме того, компания специализируется на разработке реле для специфических применений. Ведётся постоянный контроль качества изделий.

Широкая номенклатура продукции Gigavac доступна со склада в Москве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев Денис. Современные технологии коммутации. Современная электроника 2017. №3. С. 30.
2. www.escltd.ru



ЭЛЕКТРОНИКА  
КОМПОНЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

# ChipEXPO-2017

31.10 – 02.11

15-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
РОССИЯ • МОСКВА • ЭКСПОЦЕНТР

Реклама

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Департамент радиоэлектронной промышленности  
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации  
Государственная Дума Федерального собрания Российской Федерации

Департамент науки, промышленной политики и  
предпринимательства города Москвы

Московская торгово-промышленная палата

ГК "Ростех"

ГК "Росатом"

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



# Отечественные коаксиально-микроразветвляющиеся соединители

Михаил Глуховцев (Москва)

**В статье описываются отечественные аналоги коаксиально-микроразветвляющихся соединителей и переходников для применения в СВЧ-устройствах различного назначения, разработанные в рамках программы по импортозамещению.**

Отечественные производители электронной техники в своих изделиях стараются применять исключительно отечественные соединители. Более того, в изделиях военного назначения использование отечественных комплектующих зачастую является обязательным требованием. Тем не менее, в ряде случаев производители вынуждены применять импортные соединители:

- при необходимости достижения высокого уровня выходных параметров разрабатываемых изделий;
- при использовании современной зарубежной радиоизмерительной аппаратуры, выходные СВЧ-разъёмы которой отличаются от отечественных;
- при создании изделий экспортного исполнения.

Ключевыми факторами при выборе соединителя являются: предельная рабочая частота, величины коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН), прямых потерь и экранного затухания, а также особенности конструкции, условия эксплуатации, тип применяемого радиочастотного кабеля и механизм соединения с ответной частью. В зависимости от назначения и условий эксплуатации, важными параметрами могут являться герметичность, рабочий диапазон температур и другие характеристики соединителей [1].

В устройствах микроэлектроники коаксиально-микроразветвляющиеся переходы (КМПП) осуществляют вывод СВЧ-сигнала с микроразветвляющейся линии (МПЛ) на радиочастотный кабель, работающий в коаксиальном тракте 3,5/1,5 мм в диапазоне частот до 26,5 ГГц, либо в тракте 4,1/1,27 мм или 7/3,04 мм в диапазоне частот до 18 ГГц, а также в других трактах, не имеющих стандартизации в Российской Федерации. В зависимости от тре-

бований к герметичности устройств, применяют как КМПП, герметизированные металлокерамическим спаем, так и негерметичные с изоляторами из органических материалов. В России герметичные соединители выпускают ПО «Октябрь», НПП «Исток», НПП «Микран», ООО «Амитрон Электроникс» [2] и ряд других производителей. В рамках программы по импортозамещению на отечественных предприятиях выпускаются соединители типа IX/III для кабелей импортного производства, получивших широкое распространение в РФ, и соединителей типа SMA/N для кабелей российского производства. Продукция изготавливается в соответствии с ГОСТ 20465-8, ГОСТ РВ 51914-2002 и MIL-C-39012.

Центральный проводник и корпус соединителя изготовлены из кобальта, согласованного по коэффициенту термического расширения со стеклом, и покрыты износостойким золотом.

Гермовводы предназначены для герметичного ввода-вывода сигналов в модули и блоки СВЧ-аппаратуры. Конструктивно они представляют собой внешний проводник (корпус) и центральный проводник (штырь), герметично спаянные изолятором. В качестве изолятора обычно используют стекло с низкой диэлектрической проницаемостью. Металлические проводники изготавливаются из кобальта, согласованного по коэффициенту термического расширения со стеклом, и покрываются материалом высокой проводимости (золотом). Гермовводы могут иметь разную длину центрального проводника.

В некоторых сферах применения к характеристикам СВЧ-соединителей могут предъявляться довольно серьёзные требования. В качестве примера рассмотрим рекомендации по выбору элементной базы при построении активных фазированных антенных

решёток (АФАР). Соединители, применяемые в конструкции АФАР, должны иметь:

- рабочую частоту до 40 ГГц;
- малые габаритные размеры, возможность подключения при межсоединительном расстоянии между соединителями менее 4,8 мм;
- защёлкивающийся механизм сочленения;
- прочную конструкцию, выдерживающую вибрационные нагрузки не менее 10g и ударные нагрузки не менее 100g;
- возможность поверхностного монтажа на печатную плату;
- золотое покрытие для обеспечения высоких экранирующих свойств.

В наибольшей степени перечисленным требованиям удовлетворяют соединители серии SMP, представленные компаниями Rosenberger, Radial, Johnson-Emerson.

Одна из главных задач в рамках работы по проектированию российских аналогов соединителей SMP заключалась в создании миниатюрных высокочастотных соединителей для применения в радарной технике с высокой плотностью компоновки, обладающих необходимыми эксплуатационными характеристиками и высокой надёжностью [3]. Сегодня отечественные соединители выпускаются в следующем ассортименте:

- розетка кабельная прямая/угловая под монтаж на кабель методом пайки;
- вилка приборная герметичная;
- переход «вилка-вилка»;
- переход «розетка-розетка».

Отдельного внимания заслуживает переходник «розетка-розетка», так называемый Bullet, одной из задач которого является передача сигнала между печатными платами при их параллельном расположении относительно друг друга. Такие соединители могут выпускаться с различной длиной корпуса, что позволяет обеспечить необходимое расстояние между печатными платами.

Выпускаемые соединители имеют высокую механическую прочность, что позволяет применять их в составе бортовых АФАР авиатехники военного

назначения. Допустимые синусоидальные вибрационные нагрузки составляют 10g в диапазоне частот 50–2000 Гц, а допустимые ударные нагрузки составляют 40g. Корпуса негерметичных соединителей изготавливают из бронзы БрБ2 в соответствии с ГОСТ 1583, для улучшения экранирующих свойств наносится золотое покрытие. Корпуса герметичных соединителей изготавливают из сплава 29НК согласно ГОСТ 10994. Герметизация соединителя обеспечивается посредством металлоглазганного спая.

В рамках программы по импортозамещению ООО «Амитрон Электроникс» разработало и наладило выпуск следующих соединителей:

- вилка коаксиальная герметичная SMP-ВБМГП-Х-1-327-1.С (см. рис. 1) – аналог герметичного соединителя 127-1711-601 Johnson-Emerson (характеристики соединителя SMP-ВБМГП-Х-1-327-1.С приведены в таблице);
- розетка коаксиальная негерметичная SMP-РБНП-Х-1-329 (см. рис. 2) – аналог соединителя Radiall R222.723.140 (характеристики соединителя SMP-РБНП-Х-1-329 приведены в таблице);

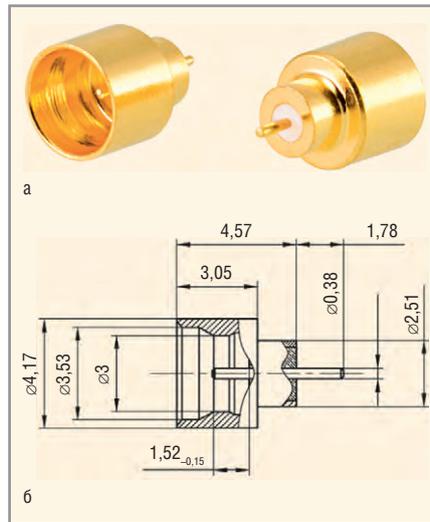


Рис. 1. Соединитель SMP-ВБМГП-Х-1-327-1.С:

а – внешний вид; б – размеры

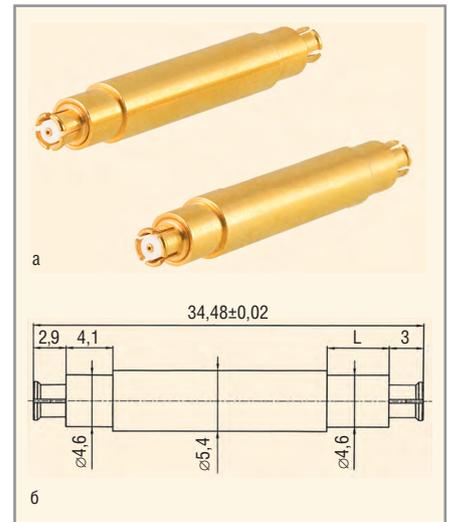


Рис. 2. Соединитель SMP-РБНП-Х-1-329:

а – внешний вид; б – размеры

Характеристики соединителей ООО «Амитрон Электроникс»

Параметры	SMP-ВБМГП-Х-1-327-1.С	SMP-РБНП-Х-1-329	SMP-РБНП-Х-1-328-1.С
Волновое сопротивление, Ом	50		
Интерфейс	SMP		
КСВН, не более	1,65	1,55	1,5
Прямые потери, не более	0,5		0,35
Экранное затухание, дБ	65		

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ Фаворит-ЭК

Stäubli, Nicomatic, Интеграл, Микро Электроника, Милпанд, Ауструм, Multi-Contact, MC, АЕДОН, АВ ЭЛЕКТРОНИКС, КВСистемы, TESLA ELECTRIC, Great River Technology, ChipStar, RD ALFA, APBENOC, NESSCAP, Microsemi, United Monolithic Semiconductors, WAGO, micross components, CYPRESS, CRANE INTERPOINT, TOR HiRel, AN INFLICON TECHNOLOGIES COMPANY, EXPENCO, TDKLambda, Civlux Group, bulgari, CREE, Switchcraft, Grayhill, KYOCERA, SHARP, i-sft, IEE, CHILIMAX, LUMINEO, POWERED BY ВЕРНО, RAYSTAR, ANADIGM, RDCI, WolfSpeed, CRANE AEROSPACE & ELECTRONICS, amu, HUMMEL, MENTOR

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru

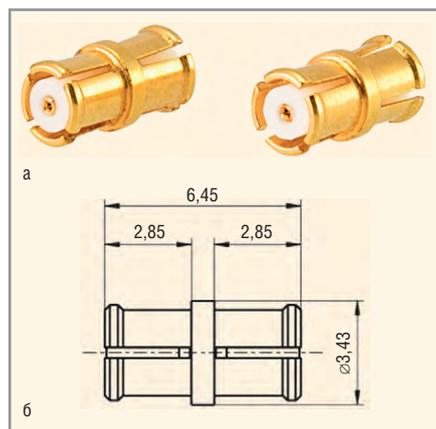


Рис. 3. Соединитель SMP-RBNP-X-1-328-1.C:

а – внешний вид; б – размеры

● розетка коаксиальная негерметичная SMP-RBNP-X-1-328-1.C (см. рис. 3) – аналог соединителя 127-0901-801 Johnson-Emerson (характеристики соединителя SMP-RBNP-X-1-328-1.C приведены в таблице).

Все описанные соединители имеют рабочую частоту до 40 ГГц и сечение коаксиального тракта 2,4/0,85 мм.

Таким образом, новые отечественные коаксиально-микроразъемные соединители обладают высокими техническими и эксплуатационными характеристиками и могут использоваться в СВЧ-технике различного назначения.

В ООО «Амитрон Электроникс» и ООО «Фаворит-ЭК» планируется разработка и других аналогов импортных СВЧ-соединителей, в том числе по индивидуальным техническим требованиям заказчиков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джуринский К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М. Техносфера. 2006.
2. Каталог продукции ООО «Амитрон Электроникс». [www.kit-e.ru/articles/Amitron\\_Electronics.zip](http://www.kit-e.ru/articles/Amitron_Electronics.zip).
3. Ефремов В. Компонентная база для АФАР. Компоненты и технологии. 2014. №9. ©

## Новости мира News of the World Новости мира

### GS Nanotech: 2 млн новых микропроцессоров по технологии SiP до конца года

Центр разработки и производства микроэлектроники GS Nanotech (в составе инновационного кластера «Технополис GS», г. Гусев Калининградской области) разработал и запустил в массовое производство многокристальный микропроцессор нового поколения для потребительской электроники SiP Emerald N2M. Использование в составе усовершенствованной системы-в-корпусе пяти кристаллов, включая новый центральный процессор, позволило повысить производительность электронного модуля. К концу 2017 г. GS Nanotech выпустит до 2 млн российских микросхем данного типа. GS Nanotech – единственное в России предприятие, которое разрабатывает и массово производит многокристальные микропроцессоры по технологии SiP (System-in-Package, система-в-корпусе) для потребительской электроники и рынков гражданского применения.

SiP Emerald N2M – система, состоящая из полупроводниковых кристаллов, смонтированных на многослойной печатной плате, и покрытая защитным компаундом. Микромодуль был разработан R&D-командой GS Nanotech за 12 месяцев. Специалисты предприятия усовершенствовали технологию создания электронных модулей SiP, что позволило создать более сложный и совершенный продукт. В составе системы-в-корпусе нового поколения пять кристаллов: высокопроизводительный центральный процессор, интегрированный сопроцессор собственной разработки GS Group, оперативная память DDR3 и два кристалла флэш-памяти. Использование

пяти кристаллов в одном модуле позволило упростить монтаж печатной платы и уменьшить размер конечных устройств. Благодаря новому центральному процессору и большему количеству кристаллов система-в-корпусе стала более высокопроизводительной по сравнению с микропроцессором прошлого поколения SiP Amber S2, сохранив при этом низкую себестоимость. При корпусировании используется технология Wire bonding – распайка выводов с использованием специальной проволоки толщиной 18 мкм. Переход с золотой проволоки на медную позволил сократить себестоимость устройства на 2,6%. SiP Emerald N2M собирается в пластиковом корпусе типа BGA и имеет 761 изолированный выход.

Электронный модуль нового поколения – центральная часть цифровых телеприставок General Satellite GS B531M и GS B532M. Главные функции микросхемы – преобразование телевизионного сигнала, его обработка и подготовка к выводу на экран ТВ или мобильного устройства.

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

### Новейшее лицензионное ПО BenchVue 2017 от Keysight Technologies

Keysight Technologies представляет программное обеспечение BenchVue 2017. Программа BenchVue для компьютера упрощает подключение приборов, регистрацию данных и документирование результатов измерений с использованием множества приборов без дополнительного программирования.

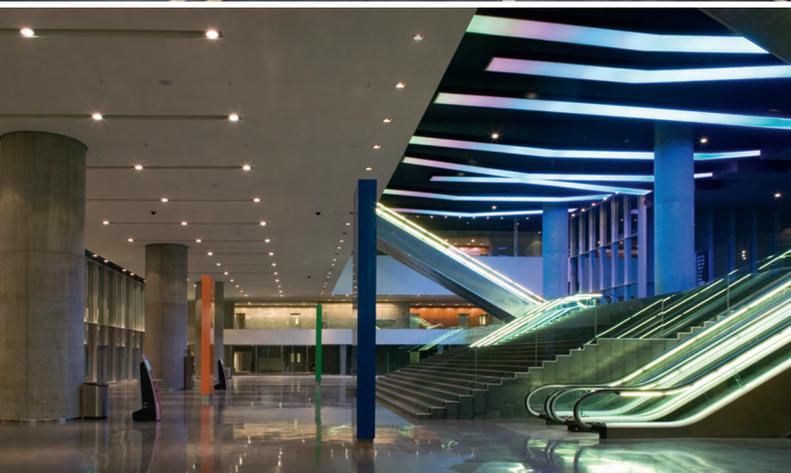
Программа BenchVue представляет собой универсальное приложение, которое обеспечивает:

- наглядное представление результатов измерений, полученных одновременно с помощью нескольких приборов;
- удобный инструмент для регистрации данных, снимков экрана и настроек системы;
- вызов последних настроек испытательной установки для достоверного воспроизведения результатов измерений;
- быстрое создание моделей специализированных алгоритмов испытаний;
- быстрый экспорт измерительных данных в нужных форматах;
- быстрый доступ к руководствам, драйверам, прошивкам, ответам на часто задаваемые вопросы и видеороликам;
- контроль и управление испытательной установкой с помощью мобильных устройств.

Программное обеспечение BenchVue включает различные приложения, предназначенные для более эффективного решения измерительных задач. При загрузке программы BenchVue пользователь получает пять базовых приложений для работы с основными типами приборов: цифровыми мультиметрами (Digital Multimeter), генераторами сигналов стандартной формы (Function Generator), осциллографами (Oscilloscope) и источниками питания (Power Supply), а также приложение BenchVue Test Flow, обеспечивающее создание собственных тестовых последовательностей в программной среде BenchVue. Другие приложения могут быть легко загружены из программы BenchVue после её установки. Доступны также дополнительные модернизированные версии Pro этих приложений, которые позволяют существенно расширить возможности тестирования. Программное обеспечение BenchVue может работать с сотнями приборов компании Keysight.

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

## Источники питания INVENTRONICS со стабилизацией выходного тока и напряжения



Компания XLight представляет широкий спектр источников питания INVENTRONICS для систем светодиодного освещения мощностью от 36 до 300 Вт

Серия EUC – источники питания со стабилизированным выходным током от 350 мА до 8,33 А

Серия EUV – источники питания со стабилизированным выходным напряжением от 12 до 54 В

### Преимущества

- Питание от сети 90...305 В
- Возможность управления яркостью освещения
- Показатель эффективности до 94%
- Коэффициент мощности до 99%
- Отсутствие пульсаций
- Защита от перенапряжения, короткого замыкания и перегрева
- Диапазон рабочих температур от -40 до +70°C
- Режим работы не менее 65 000 часов
- Водонепроницаемый корпус IP67

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XLIGHT**



## IBM запускает машинное обучение в частном облаке

Компания IBM представила когнитивную платформу IBM Machine Learning для непрерывного создания, обучения и развёртывания большого объёма аналитических моделей в частном облаке, которое лежит в основе обширных корпоративных хранилищ данных. IBM взяла за основу технологию машинного обучения платформы IBM Watson и, прежде всего, сделает её доступной там, где размещена большая часть корпоративных данных заказчиков: на мейнфреймах z Systems, операционных ядрах глобальных организаций.

IBM Machine Learning позволяет специалистам по обработке данных автоматизировать создание, обучение и развёртывание операционных аналитических моделей, поддерживающих любой язык (например, Scala, Java, Python), любой популярный фреймворк для машинного обучения (например, Apache SparkML, TensorFlow, H2O), любой тип данных по транзакциям, перемещение данных в облако без дополнительных расходов, задержек или рисков.

Cognitive Automation for Data Scientists, разработанная IBM Research, помогает специалистам по обработке информации выбирать подходящий алгоритм для анализа путём сравнения доступных алгоритмов с имеющимися данными и их ранжирования.

Мейнфрейм IBM z Systems способен обрабатывать до 2,5 млрд транзакций в день. IBM Machine Learning for z/OS помогает извлечь наибольшую ценность из данных z Systems, не перемещая при этом информацию из системы для анализа. Это также позволяет минимизировать задержки, затраты на проведение транзакций и риски безопасности, связанные с традиционными ETL-процессами. Система постоянно анализирует данные, модели для предоставления улучшенных прогнозов, инструменты оптимизации поведенческих моделей и ускорения времени получения инсайтов.

IBM Machine Learning сначала будет доступна на z/OS, а затем появится на других платформах, включая IBM Power Systems.

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

## Создаётся база знаний для обеспечения безопасности IoT

По мере роста числа подключённых к Интернету устройств IoT повышается вероятность нарушения безопасности. Поэто-

му необходимо обобщить передовой опыт защиты.

Фонд IoT Security Foundation является «независимой от производителей международной инициативой, стремящейся стать экспертным ресурсом для обмена знаниями, передовым опытом и рекомендациями». Эти ресурсы включают справочники передового опыта, один из которых называется «Основы обеспечения безопасности IoT». Его первая версия охватывает потребительские продукты и рынки, но последующие будут охватывать некоторые другие вопросы, связанные с медициной и автомобилями.

Что такое достаточная безопасность? Ответ на этот вопрос даётся в виде контрольного списка для пользователей. В нём перечислены некоторые категории продуктов и для каждого определяется рекомендуемый класс безопасности, в зависимости от потенциального ущерба, который может нанести данный продукт.

Классы безопасности обозначаются цифрами от 0 для хищений данных, которые имеют «едва заметный эффект», до 4 для хищений конфиденциальных данных, которые «потенциально могут затронуть важнейшую инфраструктуру или нанести вред людям».

Основы определяют классы безопасности наряду с соответствующими уровнями необходимой целостности, доступности и конфиденциальности. Например, класс 0 требует лишь базовых уровней, а класс 4 – высоких.

В результате получаются сочетания различных уровней. Например, средних уровней целостности и доступности с базовым уровнем конфиденциальности для класса 1. Или может быть средний уровень целостности в сочетании с высокими уровнями доступности и конфиденциальности для класса 3.

«Основы обеспечения безопасности IoT» проводят также различие между «обязательным» (требование считается «жизненно важным для защиты категории продуктов», применительно ко всему, что относится к безопасности класса 2 и выше) и просто «рекомендуемым» (позволяет отклоняться от требований, если «продукт даёт для этого веские причины»). Однако это не должно восприниматься как карт-бланш для действий по собственному усмотрению.

В справочнике «Основы обеспечения безопасности IoT» оговаривается, что выбор в рамках рекомендуемой категории должен быть документирован и обоснован.

Соблюдение изложенных в документе руководящих принципов даёт компаниям право загружать и отображать значки Фонда в качестве свидетельств самостоятельно проведённой сертификации, которые им, вероятно, придётся обновлять после выхода новых версий справочника.

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

## SAP открыл центр инноваций для Интернета вещей, AR и VR

В Университете ИТМО прошла церемония открытия центра инноваций SAP Next-Gen Lab. На мероприятии перед студентами ИТМО и представителями других петербургских вузов выступили ректор ИТМО Владимир Васильев и заместитель генерального директора SAP СНГ Дмитрий Шепелявый. Новый центр станет одной из первых в мире специализированных лабораторий SAP Next-Gen Lab для проектов Интернета вещей, дополненной и виртуальной реальности. SAP Next-Gen Lab открыт в Центре конвергентных инноваций ИТМО.

SAP Next-Gen Lab направлен на развитие у студентов предпринимательских и дизайнерских навыков, проектно-ориентированного мышления, эмоционального интеллекта за счёт разработки прототипов инновационных продуктов и решений, заказчиками которых являются клиенты и партнёры SAP – крупнейшие российские компании. Центр инноваций SAP Next-Gen Lab в ИТМО оснащён программным обеспечением и оборудованием, позволяющим создавать прототипы проектов Интернета вещей, AR/VR, мобильные бизнес-приложения, обрабатывать сценарии с применением дронов и 3D-принтеров.

Перед открытием Центра в ИТМО состоялся инноджет по теме «Будущее AdTech» – специальный конкурс от SAP в партнёрстве с компанией MediaTech, российским разработчиком программных решений для создания и управления рекламными сетями. Участники инноджета в течение двух дней разрабатывали прототипы новых решений для медиа и рекламной индустрии на базе технологий SAP.

ИТМО стал одним из 15 вузов-партнёров SAP, где открыт центр инноваций SAP Next-Gen Lab, наряду с ведущими университетами из США, Европы и Азии. Ранее в 2016 г. Университет ИТМО присоединился к сети Университетского альянса SAP, в которую входит более 3100 вузов из 106 стран мира.

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

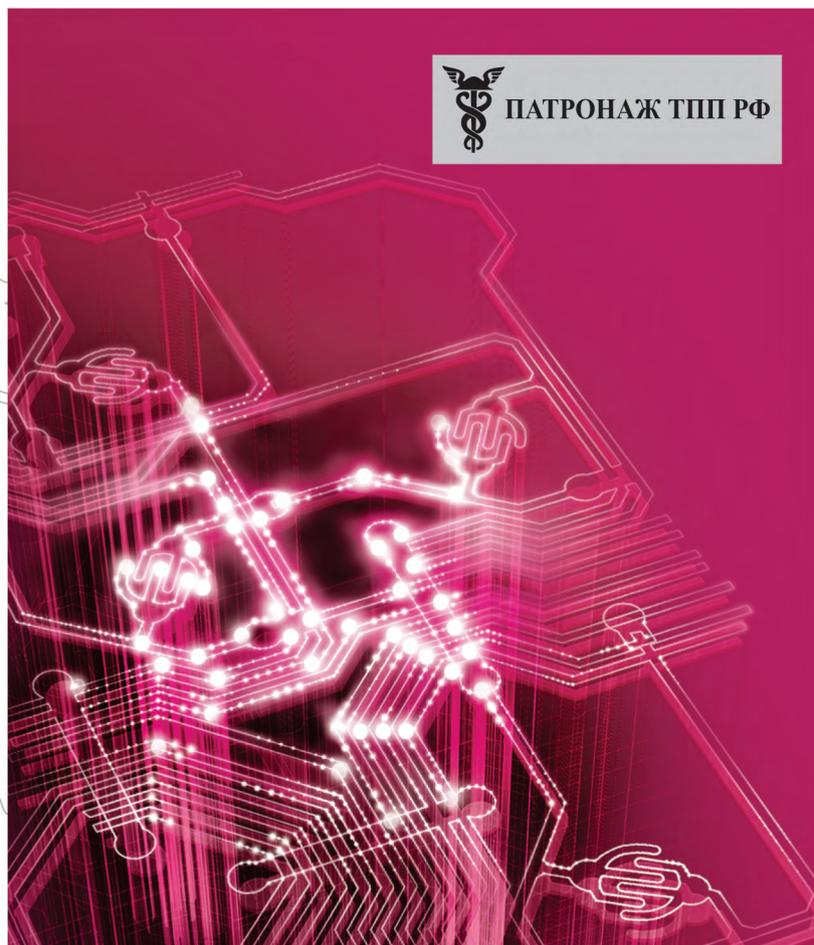


# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ПАТРОНАЖ ТПП РФ



РЕГИСТРА

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

Организатор выставки:



ЧЛЕН РСЕР



PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER

[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, ПСКК, пр. Ю. Гагарина, 8, м. «Парк Победы»

## 21 – 23 ноября 2017

Санкт-Петербург, ПСКК

# Обзор современных систем управления электроприводами

Дмитрий Кобяков (г. Нижний Новгород)

В статье рассмотрены наиболее распространённые электродвигатели современных электроприводов, принцип их работы и конструкция. Приводятся примеры применения и ключевые моменты методов управления разными видами двигателей, в зависимости от их конструкции. Приведён обзор современной элементной базы, представлена топология силовой части электроприводов малой и большой мощности.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных тенденций развития современной электротехники является разработка эффективных регулируемых систем электропривода. Современные системы управления электроприводов, как правило, цифровые с интеллектуальными силовыми ключами. Этому способствовало развитие микроэлектроники, а также силовой электроники. На данный момент под электроприводом можно понимать однокристалльную систему управления в совокупности с силовым автономным инвертором напряжения и электродвигателем. Такой электропривод представляет собой единый мехатронный модуль движения.

## Виды двигателей и их конструкция

Рассмотрим три распространённых вида электродвигателей: синхронный с постоянными магнитами, бесколлекторный двигатель постоянного тока и асинхронный с короткозамкнутым ротором. За рубежом эти двигатели называются так:

- BLDC (Brushless Direct Current Motor) – бесколлекторный двигатель постоянного тока;

- PMSM (Permanent Magnet Synchronous Machine) – синхронный двигатель с постоянными магнитами;
- AC Motor (Alternating Current Motor) – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Начнём с двигателя BLDC. У него, кроме озвученного, есть много других названий: и бесколлекторный двигатель постоянного тока (BLDC), и бесщёточный электродвигатель, и вентильный электродвигатель. Конструктивно он представляет собой синхронный двигатель с постоянными магнитами, то есть роль индуктора выполняют постоянные магниты, а не обмотка возбуждения.

Любой электродвигатель имеет статор и ротор. Статор – неподвижная часть конструкции, ротор – вращающаяся ее часть. По данному критерию двигатели можно разделить на два типа (см. рис. 1):

- Inrunner – магнитные пластины ротора расположены внутри статора;
- Outrunner – магнитные пластины ротора закреплены снаружи и вращаются вокруг неподвижного статора.

Из рисунка 1 видно, что схему Inrunner целесообразнее применять для высокооборотных двигателей

с малым числом полюсов. Из конструкции Outrunner, при желании, можно сделать электродвигатель с высоким вращающим моментом и относительно малыми оборотами. Геометрия Inrunner конструктивно проще, так как за статор можно закрепить электродвигатель. В случае конструкции Outrunner внешняя часть будет вращаться. Такой двигатель закрепляют за неподвижную часть. Ротор PMSM может включать в себя постоянные магниты или обмотку возбуждения. Постоянные магниты – это изделие из магнитотвёрдого материала с высокой коэрцитивной силой.

Геометрия ротора синхронного двигателя, как и любого другого электродвигателя, бывает:

- с явно выраженными полюсами;
- с неявно выраженными полюсами.

Если представить статор двигателя во вращающейся системе координат d–q, то получится, что конструкция с неявно выраженными полюсами имеет одинаковую индуктивность по продольной и поперечной осям  $L_d = L_q$ , а у конструкции с явно выраженными полюсами это не так –  $L_d \neq L_q$ . Этот момент очень важен, к нему мы вернёмся позже. Статор электродвигателя включает в себя корпус и сердечник с обмоткой. Широко применяются трёхфазные PMSM. Конструкция статора любого электродвигателя бывает (см. рис. 2):

- с распределённой обмоткой;
- с сосредоточенной обмоткой.

Бесколлекторные электродвигатели с тремя фазами являются самыми распространёнными. Количество фаз

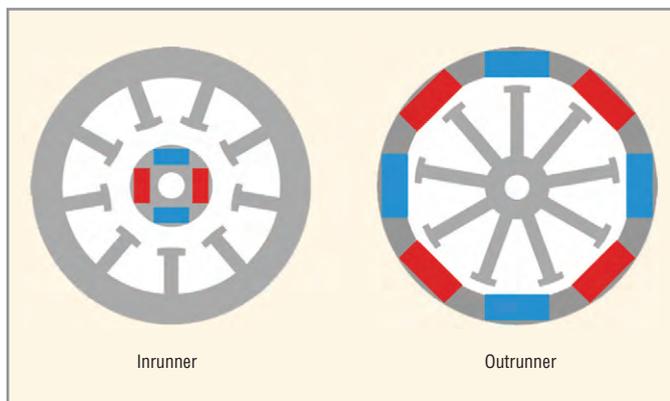


Рис. 1. Двигатели конструкции Inrunner и Outrunner

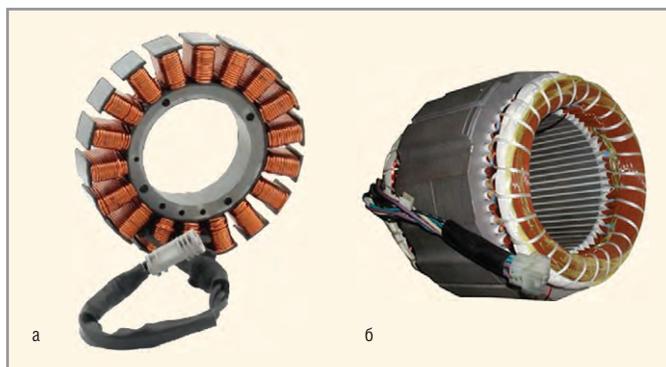


Рис. 2. Внешний вид статора: а – с распределённой обмоткой; б – с сосредоточенной обмоткой

может быть разным. С увеличением количества фаз растёт плавность вращения ротора, но становится сложнее алгоритм управления. Трёхфазная обмотка является самой подходящей по критериям простоты и КПД, поэтому она очень распространена. Под эту систему выпускаются готовые силовые транзисторные сборки. На рисунке 3 показаны обмотки со схемой соединения «треугольник» и «звезда».

Теперь сравним двигатель постоянного тока и BLDC (см. рис. 4). Современной альтернативой щёточным ДПТ являются электроприводы с вентильными, т.е. электронно-коммутируемыми двигателями. У такого двигателя нет щёток и механических контактов, поэтому его ресурс очень велик и ограничен, по сути, только ресурсом подшипников. Функцию коллектора (переключателя фаз) у вентильного электродвигателя выполняет транзисторный преобразователь.

BLDC-двигатель меньше весит и менее габаритный. Если сравнивать потери в электроприводе на базе ДПТ и BLDC, то во втором случае они ощутимо меньше. Дело в том, что потери мощности в электроприводе можно условно разделить на транзисторные и коллекторные. У вентильного двигателя коллектора нет, поэтому КПД такого привода выше. О диапазоне изменения скорости тут трудно судить однозначно. У ДПТ есть обмотка возбуждения, и увеличение скорости выше номинальной достигается за счёт уменьшения потока возбуждения. У BLDC таковой нет, то есть максимальная скорость – это номинальная скорость вращения. Так что здесь, если оба привода имеют датчики обратной связи по скорости, диапазон вращения шире у ДПТ.

Также бесколлекторные двигатели греются меньше, чем ДПТ. Вентильные

двигатели в принципе греются меньше, чем их коллекторные оппоненты: ДПТ, универсальный коллекторный двигатель, ВИД с независимым возбуждением. Статор и обмотка возбуждения у мощных приводов нуждаются в охлаждении при длительной работе. Применяют разные способы охлаждения: водяной или воздушный. При этом немного меняется внутренняя топология двигателя. У BLDC же, как и у PMSM, нет обмотки возбуждения. Следовательно, охлаждать надо только статор. Например, интересное решение применили инженеры фирмы Azipod в своих ВРК (вентильно-рулевая колонка). Azipod – фирма, которая выпускает азимутальные подруливающие устройства для различных классов судов, в том числе и для дизель-электрических ледоколов (см. рис. 5).

ВРК системы Azipod представляет собой мощный (несколько мегаватт) электропривод на базе PMSM. Преимущества такой системы в том, что статор охлаждается за счёт обтекания корпуса ВРК водой, а в роторе установлены постоянные магниты, не нуждающиеся в охлаждении. Недостаток такой системы – ремонтпригодность. Двигатель находится в гондole под водой, то есть в труднодоступной зоне. Поэтому сейчас такие системы постепенно вытесняются гибридными пропульсивными установками, где электродвигатель находится в вертикальном положении. Таким образом, достигается компромисс между потерями в передаточных механизмах и доступностью двигателя и возможностью его замены (см. рис. 6).

Ещё одним плюсом вентильных приводов является возможность эксплуатации в воде и агрессивной среде. Это преимущество, к примеру, активно используется в военной промышленности, в автомобильных приводах. Как правило, синхронный двигатель

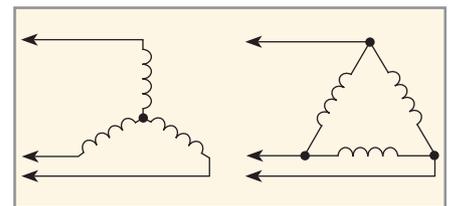


Рис. 3. Варианты соединения обмоток

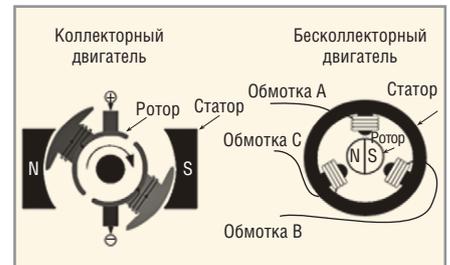


Рис. 4. Конструктивное отличие двигателя постоянного тока от BLDC

используется там, где инвертор питается от сети с одной (см рис. 7) или тремя фазами. То есть 220 или 380 В, соответственно.

BLDC – это, в основном, маломощные приводы с питанием АИН до 48 В. Нет смысла понижать 310 В до 24 В, к примеру. Поэтому там, где сеть переменного тока, используют PMSM, а там, где питание ведётся от постоянного тока (аккумулятор автомобиля), используют BLDC (см. рис. 8). Следует отметить, что ДПТ очень популярен в тяговых приложениях. Самый яркий пример – троллейбус. Поэтому есть отдельная развивающаяся ниша мощных BLDC, как альтернатива тяговым ДПТ. На рисунке 7 видно, как однофазное напряжение сети выпрямляется, а потом повышается за счёт обратногоходового импульсного преобразователя. Это схема для питания звена постоянного тока инвертора PMSM. Кстати, для увеличения мощности привода целесообразнее повышать напряжение питания электродвигателя, а не его



Рис. 5. Дизель-электрический ледокол «Норильский Никель» с пропульсивной системой Azipod

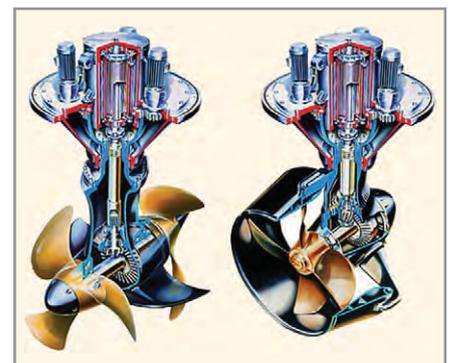


Рис. 6. Винторулевой комплекс Schottel Combi Drive

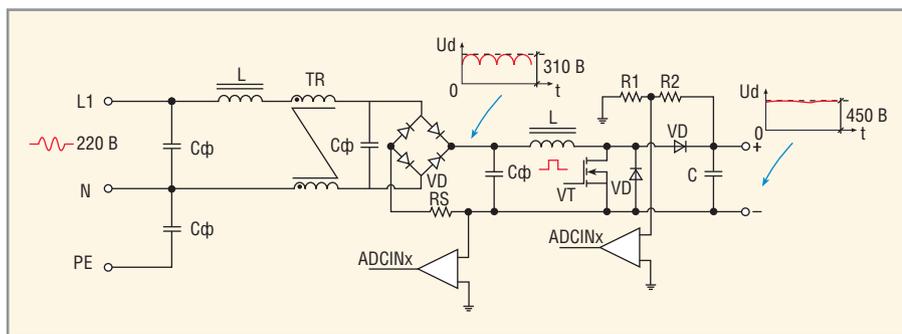


Рис. 7. Фрагмент принципиальной электрической схемы однофазного ПЧ

ток. Такой ИИП на рисунке 7 является одновременно и бустером, и ККМ. Но это уже отдельная область со своими топологиями, прерывистыми токами, датчиками, контурами компенсации и т.д.

К примеру, та же ВРК имеет силовой трёхуровневый АИН для увеличения напряжения питания электродвигателя (см. рис. 9).

Таким образом, единственным большим недостатком ВД можно считать сложный электронный блок управления и невозможность работы от сети напрямую. Если вам нужен регулируемый привод, то обязательно нужна цифровая система управления и АИН. Даже если задача не требует регулирования скорости, то в случае с BLDC или PMSM без платы управления и силовой части не обойтись. ВД без электроники – это просто железо в отличие от

ДПТ, универсального коллекторного двигателя или асинхронного электродвигателя. Их можно запускать от сети напрямую и регулировать обороты за счет добавочных сопротивлений в статоре, в обмотке ротора, меняя наклон естественной механической характеристики.

Несмотря на свою новизну вентильный электропривод, на самом деле, не является новинкой. Примерные алгоритмы работы и конструкция были придуманы в начале эры электрических двигателей. Например, в 1962 году выпустили первый BLDC. Но из-за низкого уровня вычислительных технологий BLDC не получил распространения. Синхронные двигатели занимали генераторную нишу. Для тяги больше подходили ДПТ. Например, в электрических дрелях, как и сейчас, применялись универсальные коллекторные двигате-



Рис. 8. Электродвигатель BLDC для автомобильных приложений в разобранном виде

ли, а самым распространённым двигателем был асинхронный.

Теперь поговорим об асинхронном электродвигателе, или AC motor. Он также имеет статор с тремя фазами, как и PMSM. Основным различием между PMSM и AC motor выступает ротор. Для управления также используется частотный преобразователь. Об алгоритмах и способах управления асинхронным двигателем будет рассказано ниже. Конструкция ротора состоит из цилиндра, который сделан из меди или алюминия. Внутри ротора находится железный магнитопровод и обмотка, замкнутая сама на себя, то есть накоротко. В роторе индуцируется переменное напряжение за счёт переменного магнитного поля статора. Вращающий (электромагнитный) момент – это результат взаимодействия вихревых токов в короткозамкнутом роторе с полем статора. Асинхронный электродвигатель сегодня является самым популярным. Он надёжен и требует мало обслуживания. В дополнение к этому он может запускаться напрямую от сети. ДПТ с большой мощностью от сети напрямую не запускают, так как возможен большой круговой огонь, который испортит коллектор. Их запускают с пониженного напряжения. Для этого можно разработать релейно-контакторную схему или выбрать тиристорный или транзисторный преобразователь. Не стоит забывать также о простоте конструкции, а значит о технологичности асинхронника, а также о его дешевизне.

**СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

При описании конструкции BLDC мы упомянули, что он устроен как PMSM. Но это не совсем так. Он устроен почти как PMSM. Дело в следующем. Синхронным двигателем с постоянны-

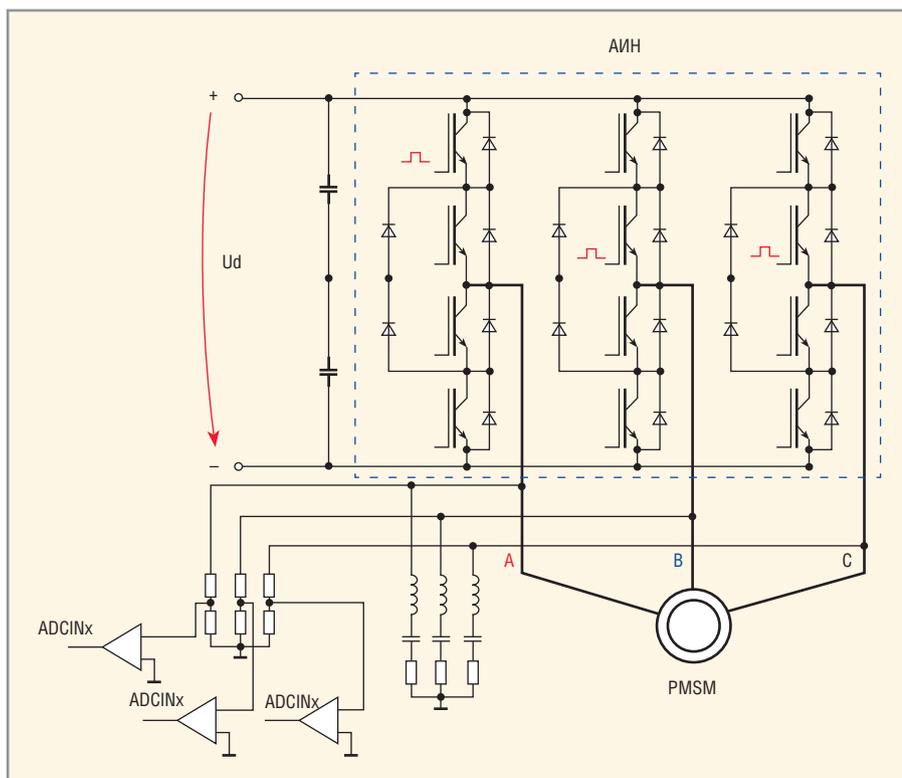


Рис. 9. Структурная схема трёхуровневого АИН

ми магнитами можно управлять в двух режимах:

- управление BLDC – режим автокоммутации с поддержанием фазного тока на заданном уровне на интервале коммутации.
- управление BLAC (PMSM) – векторный метод управления (FOC), который сегодня реализуется программно с помощью векторной ШИМ и координатных преобразований. Суть этого метода состоит в изменении частоты переменного трёхфазного напряжения, подаваемого на статор двигателя (см. рис. 10).

Когда синхронным двигателем управляют в режиме автокоммутации, его конструкция подразумевает однополярное питание при этом обмотки генерируют трапецеидальную противоЭДС. Ротор такого двигателя имеет явно выраженные полюса, что означает  $L_q \neq L_d$ . Такой двигатель называют бесколлекторным, или BLDC. Если речь идёт об управлении, ориентированном по полю (FOC), то двигатель генерирует синусоидальную противоЭДС. В роторе находятся неявно выраженные полюса. Такой двигатель называют синхронным, или PMSM. Для каждого двигателя есть свой метод управления. Точнее, конструкция сделана под метод управления.

Расскажем вкратце о методах управления BLDC и BLAC.

У обоих двигателей в роторе установлены постоянные магниты. Чтобы возник вращающий момент, нужно вращающееся магнитное поле статора, которое будет утягивать за собой ротор. В BLDC это сделано следующим образом. К АИН подводится постоянное напряжение и в каждый момент времени ток идёт только по двум фазам (см. рис. 11). Если речь идёт о 6-секторной ШИМ, то для того чтобы сделать один магнитный оборот, нужно перебрать шесть комбинаций транзисторных ключей (см. таблицу).

Различают такие понятия, как механическое вращение и электрическое (магнитное) вращение. Здесь всё зависит от числа полюсов в двигателе. Механическое и электрическое вращения зависят друг от друга:

$$n_{\text{mag}} = p \times n_{\text{мех}} \quad (1)$$

где  $p$  – число пар полюсов двигателя.

Рисунок 12 иллюстрирует изменение положения потокосцепления статора, в зависимости от комбина-

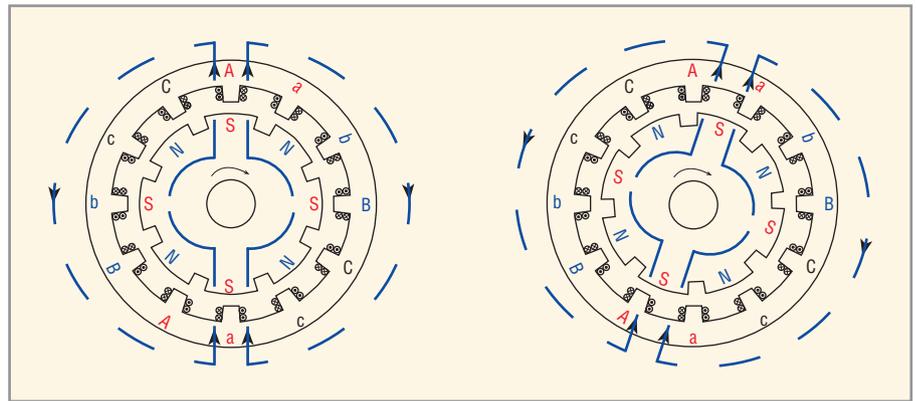


Рис. 10. Статор синхронного двигателя и вращающийся ротор с постоянными магнитами

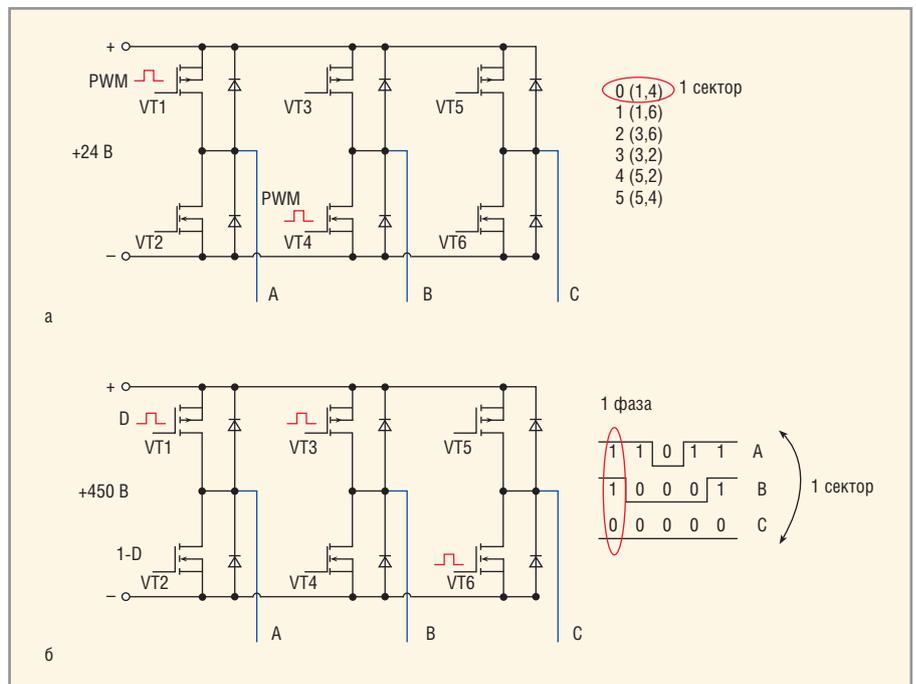


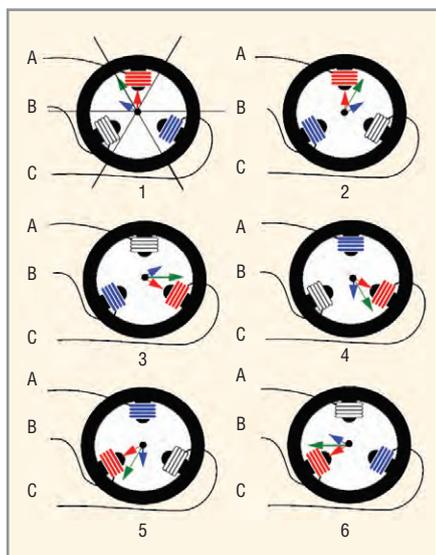
Рис. 11. Подача импульсов управления на ключи АИН: а – при обыкновенной ШИМ; б – при Space Vector ШИМ

Таблица коммутаций силовых ключей BLDC

Электрические градусы, °	Номер сектора	Сигналы PWM	Фазы		
			A	B	C
0–60	1	1,4	+	–	×
60–120	2	1,6	+	×	–
120–180	3	3,6	×	+	–
180–240	4	3,2	–	+	×
240–300	5	5,2	–	×	+
300–360	6	5,4	×	–	+

ции ключей. Для того чтобы поддерживать или регулировать скорость, нужно знать в какой момент переключить следующую комбинацию. Следовательно, необходимо знать положение ротора. Сразу стоит сказать, что бывают датчиковое и бездатчиковое управление любым электродви-

гателем. Бездатчиковое управление основано на вычислении положения ротора по противоЭДС обмоток статора. Датчиковое же управление подразумевает датчик положения ротора. Это могут быть датчики Холла, инкрементальный или абсолютный энкодер, резольвер.

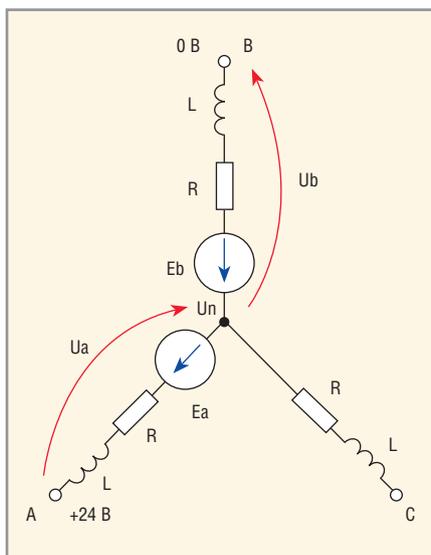


**Рис. 12.** Пояснение алгоритма переключения ключей BLDC

В качестве транзисторного моста используется АИН из шести ключей. Транзисторы могут быть как MOSFET, так и IGBT. Можно поставить обычные биполярные транзисторы. Всё зависит от мощности двигателя. При увеличении мощности разработчики стараются повысить напряжение питания АИН. Что касается частоты коммутации ключей, то обычно она не превышает 20 кГц. Поэтому если на входе 24 В, то можно поставить MOSFET или биполярные ключи. Сегодня предпочтение отдают MOSFET, так как у них больший запас по частоте, а значит они меньше греются и габариты радиатора будут меньше.

Таким образом, BLDC управляется в режиме автокоммутации фаз с поддержанием фазного тока на заданном уровне. Рисунок 13 поясняет, что такое противоЭДС.

Теперь обратимся к методу управления ВЛАС. Это самый известный метод управления синхронным двигателем. Обычно его называют векторным, или векторной ШИМ, хотя эти названия не отражают сути. Принцип его заключается в следующем. Двигатель представляется в виде обобщённой электрической машины. Есть оси статора и ротора. Двухфазная система координат статора неподвижная, а система координат ротора подвижная. Вся математика системы построена таким образом, чтобы вращающий момент двигателя был максимальным. Векторным этот способ называют потому, что все токи, напряжения и потокосцепления рассчитываются по методам векторной математики (см. рис. 14). Вектор-



**Рис. 13.** Схема замещения статора BLDC при подаче питания на фазы А и В

ная же ШИМ разработана именно под этот метод. Отсюда и название. В данном случае используется датчик положения ротора. Это может быть, например, резольвер. Применение датчика позволяет расширить диапазон регулирования скорости и повысить точность, по сравнению с бездатчиковым алгоритмом. Но это увеличивает стоимость. Как видите, везде есть свои плюсы и минусы.

**СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

На сегодняшний день электроприводы, выпускаемые промышленностью, в основном цифровые. Это значит, что ядром системы управления приводом может являться микроконтроллер или цифровой сигнальный процессор (DSP). Современный электропривод представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразователя энергии (двигателя), силового преобразователя и устройства управления. Двигатель может быть асинхронным (AC motor), синхронным с постоянными магнитами (PMSM), обычным ДПТ (BDC) или бесколлекторным двигателем постоянного тока (BLDC). Силовой преобразователь, как правило, имеет топологию 6-транзисторного АИН, если речь идёт не о ДПТ и не о SRM (вентильно-индукторный двигатель с самовозбуждением), а также не о больших мощностях.

Микроконтроллер вопросов не вызывает. Например, 8-разрядный ATMEGA 16 легко обеспечивает быстродействие

и точность на необходимом уровне (простое вращение вала). Он отлично подходит для управления мало-мощным ДПТ без скоростных интерфейсов связи. В промышленности же, в основном, применяются сигнальные процессоры.

**ЦИФРОВОЙ СИГНАЛЬНЫЙ ПРОЦЕССОР**

Digital signal processor (DSP) – специальный микроконтроллер, предназначенный для цифровой обработки сигналов, в масштабе реального времени. Какие параметры DSP влияют на качество регулирования? Это разрядность, быстродействие, разрядность и быстродействие модуля АЦП. На сегодняшний день наиболее широкое применение нашли DSP фирмы Texas Instruments. Texas Instruments выпускает DSP семейства Motor control – TMS320C28x. Это 32-разрядные DSP с фиксированной запятой (fixed-point). Сигнальные процессоры C28x по сути представляют собой высокопроизводительный микроконтроллер с 32-разрядной шиной данных. Семейство C28x содержит периферию для приложений управления (например, CAN-интерфейс, модуль ШИМ и модули АЦП). Процессоры C28x применяются для управления приводами и цифровыми импульсными источниками питания. Тактовая частота DSP C28x достигает 150 МГц.

Преимущества TMS320C28x:

- разрядность 32 бита и возможность работы с псевдоплавающей запятой (Float-Point) посредством библиотеки IQmath – высокая точность регулирования;
  - сильная периферия (12-битный АЦП, CAN, UART, модуль PWM);
  - быстродействие до 150 МГц.
- Недостатки TMS320C28x:
- последовательно выполняемая программа управления вращением двигателя и АЦП конечного быстродействия. Это накладывает временные ограничения на структуру системы управления;
  - управление на базе DSP производится по принципу единичного прерывания, а это значит, что частота прерывания, в котором идёт расчёт вращения, зависит от быстродействия АЦП и также накладывает временные ограничения на обработку интерфейсного прерывания.

Существуют и отечественные аналоги микроконтроллеров Texas Instru-

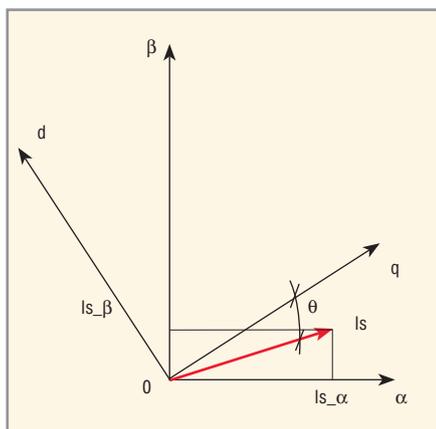


Рис. 14. Вектор тока статора в неподвижной и вращающейся системах координат

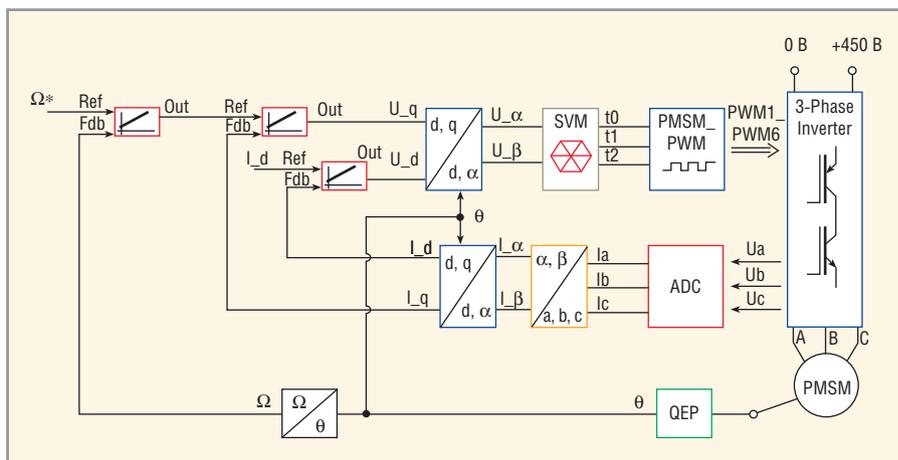


Рис. 15. Обобщенная структурная схема системы управления электроприводом PMSM

ments. Например, фирма «Миландр» выпускает свои микроконтроллеры на базе ядер ARM Cortex-M3 и M4. Вопрос специфики применения отечественных микроконтроллеров в приводах на базе BLDC или PMSM довольно обширный и заслуживает отдельной статьи.

На рисунке 15 представлена структурная схема управления электроприводом PMSM. Микроконтроллер управляет скважностью силовых ключей

и снимает сигналы с АЦП. Вращение вычисляется в программных модулях. Тут есть и цифровые ПИД-регуляторы, и модули координатных преобразований, и векторная ШИМ, и многое другое. Учитывая полосу пропускания электропривода, тактовой частоты DSP вполне хватает как на вращение, так и на обмен информацией по интерфейсам. Устройство электроприводов BLDC или PMSM с системой управления от DSP Texas

Instruments или микроконтроллера фирмы «Миландр» – довольно обширный вопрос и выходит за рамки данной статьи.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. СПб. БХВ-Петербург. 2002. 464 с. Ил.
2. TMS320F2810, TMS320C2810 Digital Signal Processors – Texas Instruments. 2012. ©

**Внедрение САПР - дело непростое.**  
Хотите купить не просто диск, а сразу получить систему, готовую к эффективному использованию?

# Altium Designer

от НПП «Родник»:  
**все включено!**

- Altium Designer
- Комплект библиотек
- Техническая поддержка
  - Обучение
  - Внедрение на предприятии

Тел.: +7 (499) 613-7001, [www.rodnik.ru](http://www.rodnik.ru)

Реклама

# Дисплейные технологии Litemax для применения на транспорте

Игорь Матешев (Москва)

В статье рассмотрены дисплейные технологии, разработанные компанией Litemax – одним из самых известных производителей промышленных и информационных дисплеев. В приведённом обзоре внимание сконцентрировано на тех разработках, которые интересны, прежде всего, инженерам-проектировщикам транспортных средств. Речь идёт как о дисплеях, предназначенных для кабин машинистов и пилотов, так и об информационно-развлекательных системах для пассажиров. Особое внимание уделено методам получения чёткого изображения при ярком солнечном освещении.

## ВВЕДЕНИЕ

В транспортной сфере наступила эпоха дисплеев. Они буквально повсюду: в поездах, автомобилях, самолётах и на кораблях. И это уже не маленькие монохромные дисплеи, годные лишь для того, чтобы показывать время и температуру с пробегом. Теперь это широкоформатные дисплеи, полностью заменяющие многие приборы, зачастую оборудованные сенсорным экраном. Фактически, современный монитор вместе с компьютером – это полноценная станция управления.

А какой скачок произошёл на рынке рекламы и информационных систем! Во многих вагонах московского метро

появились мониторы, выводящие карту метро, ближайшую станцию и обязательного слонёнка, предупреждающего, что приСЛОНяться к дверям чревато. Это удобно, красиво, информативно, а ещё не так дорого, как раньше (см. рис. 1).

Почему же дисплеи стали столь популярными? Ответ прост – потому что на рынке уже довольно давно появились компании, которые решили вложиться в разработку новых видеосистем. И вот сегодня, благодаря их усилиям, мониторы стали достаточно удобными для применения на транспорте.

Одна из таких компаний появилась в 2000 г. на Тайване, и изначально зани-

малась сборкой дисплеев с улучшенной подсветкой [1]. Речь идёт о Litemax – одном из патриархов рынка промышленных и информационных дисплеев. Хотя начинали они с контрактной сборки под заказ, вскоре компания перешла уже к серийному выпуску дисплеев и мониторов Durapixel для наружного применения с яркостью от 1000 кд/м<sup>2</sup>. Благодаря им разработчики смогли выйти на рынок транспортных видеосистем. Мониторами Durapixel заинтересовались производители блоков для управления поездами, потому что машинисту очень важно «читать» картинку в любых условиях: и ночью, и днём. В процессе работы с железнодорожниками компания обнаружила ещё одну нишу, практически не занятую, – полосковые информационные дисплеи.

Что такое полосковый дисплей? В России пока не устоялся даже сам термин. В Интернете можно найти следующие определения: «широкоформатный дисплей», «Bar-Type панель», «резанный дисплей» и даже «узкий монитор». Все они означают одно – ЖК-панель, у которой с помощью высокоточного оборудования отрезали часть активной области, чтобы получить широкий (или узкий – как посмотреть) дисплей, очень необычно выглядящий и идеально подходящий для рекламы или информационных табло. У Litemax серия полосковых мониторов называется Spanixel.

В 2008 г. продукция компании появилась и на морских судах. Речь идёт о наиболее консервативном направлении – морских мониторах Navpixel. Это мониторы, защищённые по классу IP65 или IP68, с сенсорными панелями и с питанием от DC-источников 9–36 В. Корпус этих мониторов изготовлен из алюминия и обеспечивает повышенную прочность.

## ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕМАХ

### Читаемость на свету

Чтобы получить хорошую картинку, применяется целый комплекс мер. В общем случае – чем выше внешний контраст, тем легче наблюдателю считывать информацию при ярком освещении.



Рис. 1. Наддверное табло с монитором в Московском метрополитене



**SPANPIXEL™** — новаторские, сверхширокие, с высокой яркостью, нестандартные ЖК-дисплеи со светодиодной подсветкой

- ✓ Поддержка ландшафтного и портретного режимов
- ✓ Наилучший выбор для специфических промышленных применений
- ✓ Наиболее привлекательный для глаз ЖК-дисплей

#### Основные свойства

- Сверхширокий экран
- Безвентиляторная конструкция
- Светодиодная подсветка обеспечивает считывание изображения при солнечной засветке
- Яркость 1000 кд/м<sup>2</sup>
- Устойчивость к воздействию ударов и вибрации
- Высокая контрастность
- Широкий угол обзора
- Длительный срок службы, низкая потребляемая мощность

#### Применения



#### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ LITEMAX ELECTRONICS



**PROSOFT®**

<b>МОСКВА</b>	Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>С.-ПЕТЕРБУРГ</b>	Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>АЛМА-АТА</b>	Тел.: (727) 220-7140/7141 • sales@kz.prosoft.ru • www.prosoft-kz.com
<b>ВОЛГОГРАД</b>	Тел.: (8442) 260-048 • volgograd@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ЕКАТЕРИНБУРГ</b>	Тел.: (343) 376-2820; 356-5111 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru
<b>КАЗАНЬ</b>	Тел.: (843) 203-6020 • Факс: (843) 203-6020 • info@kzn.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>КРАСНОДАР</b>	Тел.: (861) 224-9513 • Факс: (861) 224-9513 • krasnodar@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>Н. НОВГОРОД</b>	Тел.: (831) 215-4084 • nnovgorod@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>НОВОСИБИРСК</b>	Тел.: (383) 202-0960; 335-7001/7002 • Факс: (383) 230-2729 • info@nsk.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ОМСК</b>	Тел.: (3812) 286-521 • Факс: (3812) 315-294 • omsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ПЕНЗА</b>	Тел.: (8412) 494-971 • Факс: (8412) 494-971 • penza@prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>САМАРА</b>	Тел.: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • info@samara.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>УФА</b>	Тел.: (347) 292-5216/5217 • Факс: (347) 292-5218 • info@ufa.prosoft.ru • www.prosoft.ru
<b>ЧЕЛЯБИНСК</b>	Тел.: (351) 239-9360 • chelyabinsk@prosoft.ru • www.prosoft.ru

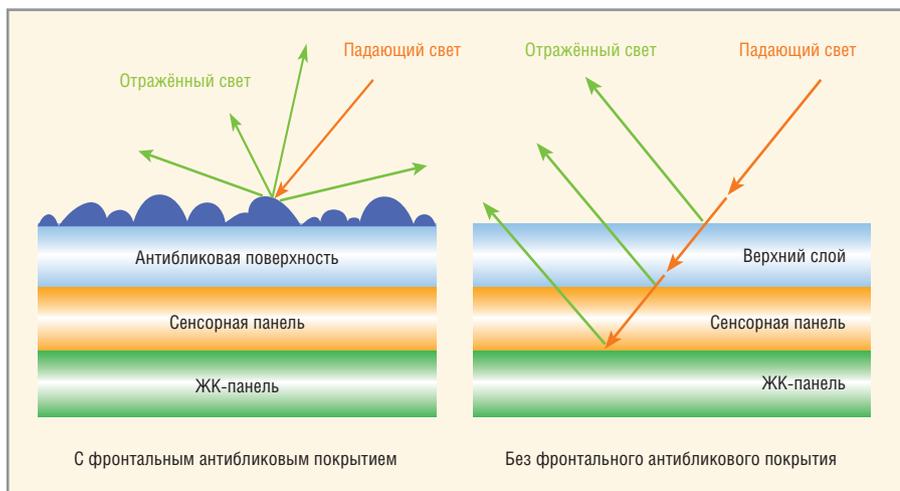


Рис. 2. Структура антибликового покрытия

пении. Чтобы повысить внешний контраст, необходимо, по возможности, избавиться от отражённого от экрана света, например, применив антибликовые и антиотражательные фильтры и используя поляризаторы, а также повысить яркость подсветки дисплея.

Высокая яркость обеспечивается за счёт применения мощных систем подсветки. Сейчас практически все производители используют светодиодную подсветку, поскольку она долго служит, мгновенно включается, легко переносит механические воздействия и имеет широкий диапазон регулировки яркости без влияния на срок службы. Ко всему прочему, светодиодная система подсветки не требует высоковольтных схем питания, что очень важно, например, во взрывоопасных зонах. Минус её состоит в том, что требуется обеспечить очень грамотную схему питания – именно поэтому у всех дисплеев от Litemax в комплекте есть свой собственный драйвер подсветки.

Что касается отражённого света, то для борьбы с ним в основном используются плёночные антибликовые и антиотражательные фильтры (см. рис. 2). И хотя сами по себе такие плёнки помогают увеличить внешний контраст (они рассеивают и распределяют отражение света), эти покрытия влияют только на внешний слой стекла дисплея. При этом свет проходит через внутренние слои дисплея, отражаясь от них, а антибликовые покрытия не могут этого предотвратить. Если в простых дисплеях, зачастую, имеется три-четыре слоя, то в более сложных конструкциях количество слоёв может достигать до семи-восьми (сенсорный экран, защитное стекло, и т.п.). По мере того как свет проходит через каждый слой, будет изменяться показатель преломления, в результате чего неизбежно будут возникать отражения. Это искажение усиливается у дисплеев, которые имеют воздушные зазоры между стеклянными слоями. Чтобы исправить ситуацию, Litemax применяет технологию бондинга.

**Оптический бондинг (Advanced Optical Transparency, AOT)**

Оптический бондинг – это процесс формирования слоёв на ЖК-дисплее, состоящих из защитного стекла, сенсорного экрана и других дополнительных прослоек, например, рефлективной плёнки. Для того чтобы удалить воздушный зазор между этими слоями, используется силиконовый гель или другой адгезивный материал. Затем сборка термоотверждается, и застывший слой геля скрепляет получившийся «сэндвич». Таким образом, оптический бондинг устраняет внутренние отражения между слоями, поскольку показатель преломления становится единым (см. рис. 3). В итоге производитель получает высокий показатель внешнего контраста, а так как у дисплеев Litemax конструкция подсветки улучшена (яркость свыше 1000 кд/м<sup>2</sup>), то изображение становится читаемым в любых условиях.

К тому же оптический бондинг даёт и другие преимущества: укрепляет конструкцию дисплея, защищает от конденсата и осадков пространство между слоями и не влияет на диапазон рабочих температур дисплея [2].

**Локальная динамическая подсветка**

Суть технологии – локальное изменение яркости светодиодов, составляющих матрицу подсветки, в зависимости от яркости самой картинки.

С её помощью можно добиться очень высокого контраста, при этом экономив на электричестве – энергопотребление дисплеев с такой системой ниже, поскольку подсветка работает со стопроцентной отдачей только в тех зонах, где это нужно, а не по всей области дисплея (см. рис. 4). Посколь-



Рис. 3. Оптический бондинг

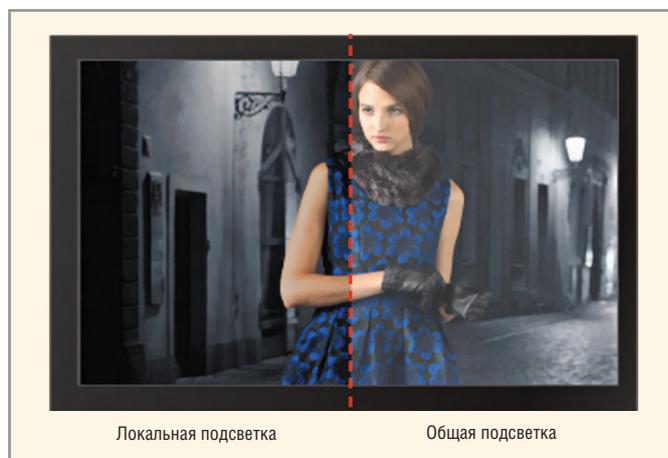


Рис. 4. Локальная динамическая подсветка



Рис. 5. Монитор Spanpixel для ценников



Рис. 6. Монитор Spanpixel для расписания поездов

ку локальная подсветка используется, в первую очередь, в информационных панелях с большой диагональю, то экономия может быть очень существенной [3]. В общем виде работа системы выглядит так:

- загрузка в память изображения;
- вычисление средних уровней яркости;
- создание управляющего сигнала для светодиодов матрицы подсветки;
- изменение начального видеосигнала и сигнала управления матрицей ЖК-панели;
- подача управляющего сигнала светодиодной матрицы;
- загрузка развёртки ЖК-панелью.

**Управление температурным режимом (Internal Thermal Control)**

При длительной работе монитора с повышенной яркостью подсветки очень важно сохранить долгий срок службы. Но сделать это очень сложно, потому что любая мощная подсветка вырабатывает много тепла, которое надо эффективно отводить, иначе произойдёт перегрев со всеми вытекающими последствиями. Litemax предлагает использовать отдельную плату управления температурным режимом, благодаря которой можно значительно снизить нагрузку на дисплей.

**Полосковые дисплеи**

Полосковые дисплеи (серия Spanpixel) – это ответ на запрос рынка на нестандартный формат дисплеев, удобный для отображения специфической информации (см. рис. 5). Серийное производство ЖК-панелей с нестандартными размерами по полному циклу не очень выгодно с коммерческой точки зрения (хотя некоторые производители всё-таки делают их, например, AUO). Чтобы получить

полосковую ЖК-панель нужного формата, серийные ЖК-панели обрезают до нужного размера. Впервые панели начали резать около 20 лет назад. Сегодня эта технология уже успешно отработана многими производителями дисплеев. С помощью этой операции из панелей стандартных форматов (3:4 или 16:9) можно получить панели квадратной или полосковой формы. Панели с квадратной формой экрана используются для мониторов авионики, а полосковые панели востребованы в сферах транспорта и торговли (см. рис. 6).

При разрезании ненужные драйверы строк и столбцов отделяют, потом подгоняют под нужный формат плёнки нижнего и верхнего поляризаторов, затем режут алмазной фрезой обе стеклянные подложки ЖК-панели. Жидкие кристаллы не вытекают, потому что их удерживают на месте капиллярные силы, при этом они остаются полностью работоспособными. Последний штрих – герметизация ЖК-зазора [1].

С помощью этой операции можно получать экраны почти любой формы (кроме круглой). Чтобы упростить производство, в качестве основы обычно берут панели со стороной требуемого размера.

**Подключение цепочкой (Daisy Chain)**

На транспорте очень часто нужно выводить одно и то же изображение на все дисплеи системы. Например, расписание движения поездов или прилёта самолётов на все мониторы вокзала или терминала, или схему метро на все экраны подвижного состава. Дисплеи Spanpixel можно соединить в цепочку последовательно или закольцевать схему. Достаточно кабеля пятой категории, чтобы передать изображение на

все дисплеи в системе с одного головного монитора.

**Подключение по USB**

Для транспортных проектов небезынтересной может оказаться возможность подключения дисплеев Litemax по USB-протоколу. Получается устройство Plug&Play – по одному кабелю осуществляется и трансляция информации, и подача питания.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Дисплеи на транспорте – это уже норма. Они являются не только элементами блоков управления, но и информационно-развлекательными системами для пассажиров. Стоимость дисплеев снижается, а функционал – улучшается. Неудивительно, что они стали столь популярными.

При разработке проекта (например, комплекса информационных табло в терминале аэропорта) разработчики предпочитают не усложнять себе жизнь, выбирая готовые мониторы или комплекты подключения. Это правильно – лучше взять комплект дисплея с контроллером от Litemax, чем тратить время и деньги на разработку и отладку будущего монитора. А с технологиями Litemax можно подобрать дисплей практически для любого применения на транспорте.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Петропавловский Ю., Самарин А. Дисплейные решения Litemax для промышленных приложений. Компоненты и технологии. 2014. №3.
2. Матешев И., Туркин А. Защищённые мониторы – от дисплея до тачскрина. Современная электроника. 2016. №7.
3. Самарин А. Тенденция развития сектора ЖК-телевизоров со светодиодной подсветкой. Компоненты и технологии. 2010. №4.



# Векторные анализаторы цепей серии Кобальт

Владимир Губа, Олеся Быкова, Ольга Мосина,  
Александр Савин (г. Томск)

В декабре 2016 г. в государственный реестр средств измерений включена серия из пятнадцати новых векторных анализаторов цепей отечественной разработки и производства, перекрывающих частотный диапазон от 100 кГц до 110 ГГц.

На любом этапе разработки, производства и приёмки изделий СВЧ-электроники необходимо подтверждать качество продукции. Получить достоверные результаты и удовлетворить все вовлечённые стороны помогают поверенные средства измерений, которые должны находиться на производстве, в отделах технического контроля и метрологии, а также на территории заказчиков. Поверенным может быть только средство измерений утверждённого типа.

В декабре 2016 г. государственный реестр пополнился векторными анализаторами цепей серии Кобальт производства компании «Планар» (г. Челябинск). Испытания с целью утверждения типа проведены специалистами ФБУ «Ростест-Москва» [1].

Приборы позволяют проводить прецизионные измерения электрических параметров радиотехнических цепей и устройств в широком диапазоне частот. Анализаторы отличаются друг от друга верхней границей диапазона рабочих частот, количеством измерительных портов, расположенных на передней панели, наличием соединителей для прямого доступа к входам измерительных и опорных приёмников, а также наличием соединителей для подключения расширителей по частоте. В таблице приведена номенклатура и основные характеристики приборов.

Анализаторы состоят из измерительного блока, выполняющего функцию компаратора, и принадлежностей, к которым относятся измерительные кабели и переходы, а также средства калибровки. Совместно с кабелями для уменьшения риска их повреждения рекомендуется использовать адаптеры-переходы. Средства калибровки применяются для выполнения процедуры, позволяющей устранить неиде-

альность измерительного тракта при определении комплексных коэффициентов передачи и отражения. Для калибровки анализаторов могут использоваться автоматические калибровочные модули, наборы мер с резистивными согласованными нагрузками или с согласованными нагрузками с подвижным поглотителем, а также наборы мер с отрезками прецизионных линий передачи. Пользователь может применять коммерчески доступные принадлежности любых производителей. Рекомендации по подбору комплекта приведены в руководстве по эксплуатации [2]. Пользователю не требуется приобретать принадлежности с каждым отдельным прибором – допускается использовать уже имеющиеся на предприятии. Нужно лишь убедиться, что их метрологические характеристики соответствуют измерительной задаче.

## РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Анализаторы цепей серии Кобальт поддерживают различные режимы измерений:

- S-параметры;
- S-параметры с прямым доступом к приёмникам;
- S-параметры в расширенном диапазоне частот;
- балансные измерения;
- параметры устройств с переносом частоты;
- анализ и фильтрация во временной области;
- абсолютная мощность;
- линейность амплитудной характеристики;
- импеданс;
- напряжение постоянного тока;
- исключение/встраивание цепи.

Результаты отображаются в декартовой и полярной системах, а также на диаграмме Вольперта-Смита.

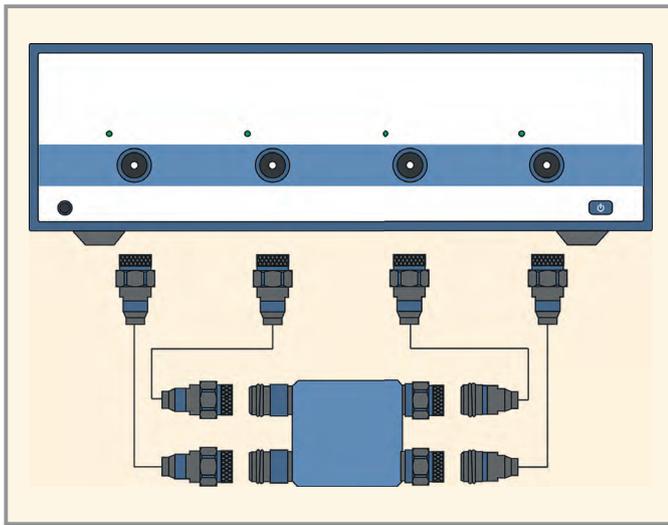
## S-параметры

Схема измерений приведена на рисунке 1. Для исключения влияния устройств, не учтённых в процессе калибровки, можно вводить дополнительную электрическую задержку или программно исключать/встраивать электрические цепи согласно их моделям или данным из файлов описаний. Внесённые значения корректируют плоскость отсчёта измеряемых величин и способствуют повышению точности измерений. Программное обеспечение позволяет изменять значение характеристического импеданса измерительной системы. При изменении импеданса значения S-параметров исследуемых устройств пересчитываются автоматически. Используя функцию преобразования, можно представлять результаты измерений, как Z, Y или инверсные S-параметры.

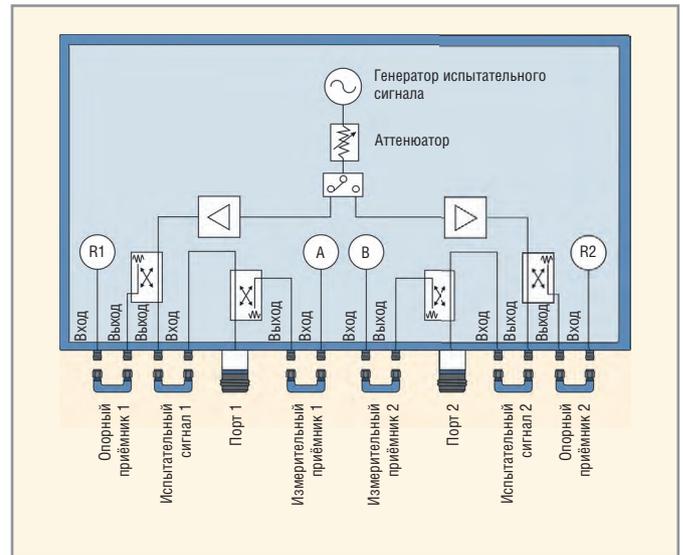
## S-параметры с прямым доступом к приёмникам

Некоторые из представленных приборов имеют переключки для прямого доступа к приёмникам (см. рис. 2). Подобная схема построения анализаторов позволяет выполнять специальные измерительные задачи.

К примеру, прямой доступ к приёмникам является необходимым условием для реализации систем с переменным импедансом (Load Pull Measurement Systems). Внешний вид измерительной системы показан на рисунке 3. Эти системы ориентированы на измерение входной и выходной мощности, коэффициентов передачи и эффективности при исследовании устройств, когда сопротивление источника сигнала и нагрузки отличаются от характеристического импеданса линии передачи. Системы хорошо зарекомендовали себя при разработке и производстве усилителей мощности СВЧ, включая отдельные транзисторы. Также они используются для определения и построения различных моделей на группы устройств и, соответственно, валидации таких моделей.



**Рис. 1. Одновременное измерение шестнадцати S-параметров четырёхпортового устройства за одно подключение**



**Рис. 2. Расположение перемычек для прямого доступа к приёмникам**

**Номенклатура и основные характеристики приборов**

Анализатор	Диапазон частот; время измерений; количество портов	Выходная мощность; средний уровень шума; SKO трассы	Режимы измерений
C1205	От 100 кГц до 4,8 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N	От -60 до 10 дБм; -143 дБм/Гц; 0,001 дБ	S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C1207	От 100 кГц до 7 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N	От -60 до 15 дБм; -143 дБм/Гц; 0,001 дБ	S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C1209	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C2209	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, временная область, напряжение
C4209	От 100 кГц до 9 ГГц, расширение до 110 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, временная область, напряжение
C1409	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 4 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, балансные измерения, временная область, напряжение
C2409	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 4 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, балансные измерения, временная область, напряжение
C4409	От 100 кГц до 9 ГГц, расширение до 110 ГГц; 10 мкс; 4 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, балансные измерения, временная область, напряжение
C1214	От 100 кГц до 14 ГГц; 12 мкс; 2 порта, тип N	От -60 до 10 дБм; -133 дБм/Гц; 0,001 дБ	S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C1220	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 2 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C2220	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 2 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, временная область, напряжение
C4220	От 100 кГц до 20 ГГц, расширение до 110 ГГц; 12 мкс; 2 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, временная область, напряжение
C1420	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 4 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, балансные измерения, временная область, напряжение
C2420	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 4 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, балансные измерения, временная область, напряжение
C4420	От 100 кГц до 20 ГГц, расширение до 110 ГГц; 12 мкс; 4 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, балансные измерения, временная область, напряжение

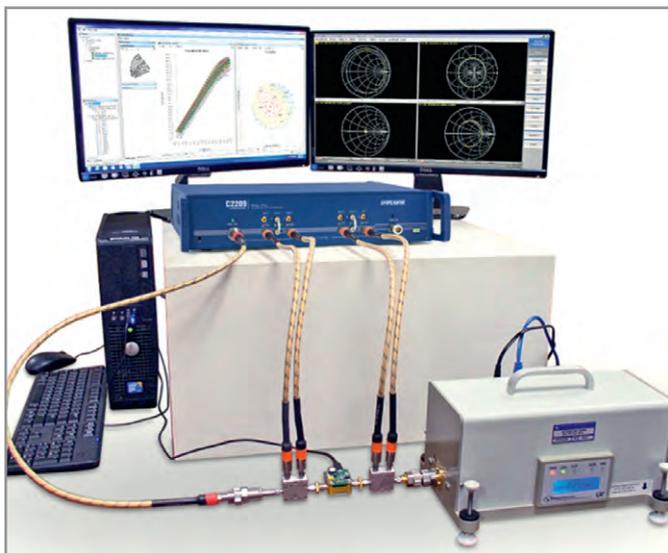


Рис. 3. Измерительная система с переменным импедансом

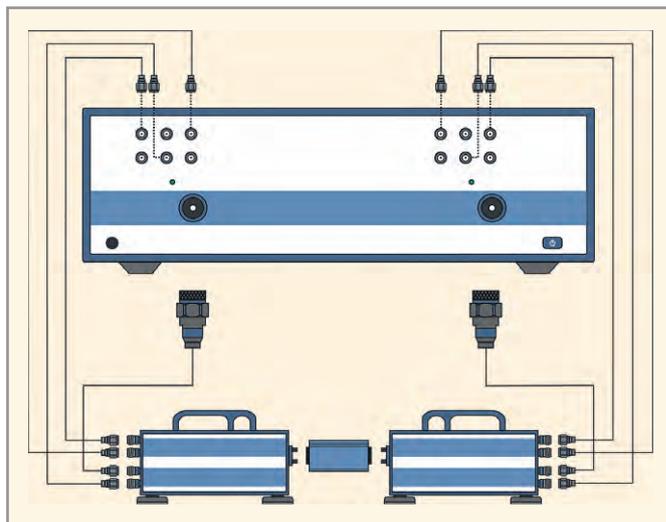


Рис. 4. Измерение S-параметров двухпортового устройства с использованием внешних расширителей

**S-параметры в расширенном диапазоне частот**

В линейке приборов представлены анализаторы с переключками для подключения расширителей по частоте. Расширители представляют собой внешние преобразователи, имеющие волноводные соединители и перекрывающие диапазон частот от 50 до 110 ГГц. Питание расширителей осуществляется от прибора. Схема измерений приведена на рисунке 4.

**Балансные измерения**

Функция балансных измерений преобразует небалансные S-параметры в их балансные аналоги путём объединения произвольной пары портов в логический балансный порт. Поддерживаются четыре конфигурации измеряемых устройств с различными комбинациями балансных и небалансных портов. Типы балансных цепей показаны на рисунке 5.

Измеряемые параметры: S-параметры в дифференциальном режиме, коэффициент

ослабления синфазной составляющей, дисбаланс.

**Параметры устройств с переносом частоты**

С помощью анализаторов цепей возможно выполнение измерений параметров устройств с переносом частоты.

Скалярный метод позволяет определять модуль коэффициента передачи смесителей и других устройств, у которых входная частота не равна выходной. Метод использует режим смещения, когда частота порта приёмника смещена относительно порта источника, и не требует применения внешних смесителей.

Комплексный коэффициент преобразования, конверсионные потери и групповое время запаздывания можно измерять векторным методом. Он требует применения внешнего смесителя и единого гетеродина для внешнего и исследуемого смесителей (см. рис. 6).

Функция подстройки частоты смещения позволяет автоматически подстраивать частоту, компенсируя погрешность установки внутреннего гетеродина в исследуемом смесителе.

**Временная область**

Приборы поддерживают анализ электрических параметров во временной области.

В программном обеспечении доступна функция преобразования данных из частотной области в отклик устройства во временной области (см. рис. 7). Можно выполнить расчёт оценки импульсной (режим видеосигнала или радиосигнала) или переходной (режим видеосигнала) харак-

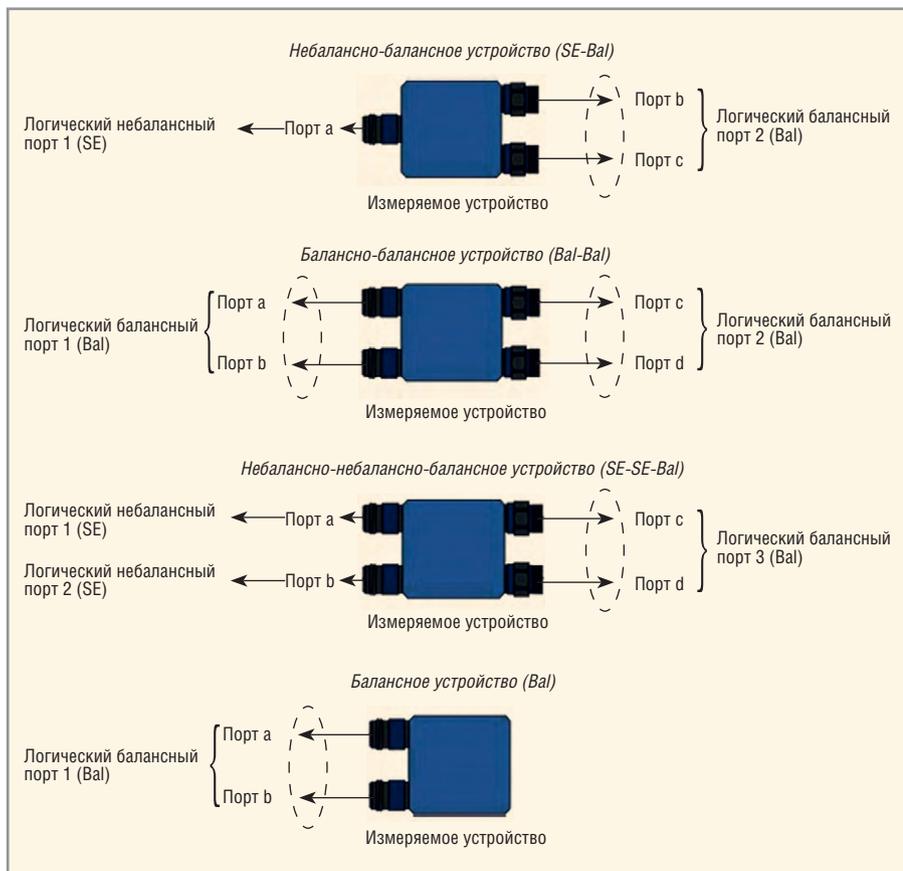


Рис. 5. Типы балансных цепей

теристик в рабочей полосе прибора. Для достижения компромисса между разрешающей способностью и уровнем паразитных боковых лепестков используются различные формы окон. Для устранения нежелательных откликов может применяться функция временной селекции.

### ИНТЕРФЕЙС

Анализаторы имеют простой интерфейс, не требующий долговременного изучения. В программном обеспечении реализованы функции, упрощающие работу: маркерная система для поиска требуемых значений по заданному критерию, допусковый контроль, математическая и статистическая обработка, фильтрация, сохранение и восстановление измеренных данных и настройки органов управления. Важным преимуществом является возможность удалённого управления программным обеспечением пользователя, адаптированным под конкретные приложения. Используя возможности программирования, пользователь может самостоятельно выбрать, как применять прибор для решения собственных задач.

### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АНАЛИЗАТОРОВ

Особое внимание уделено метрологическому обеспечению анализаторов: как способам представления погрешностей, так и автоматизации процесса поверки.

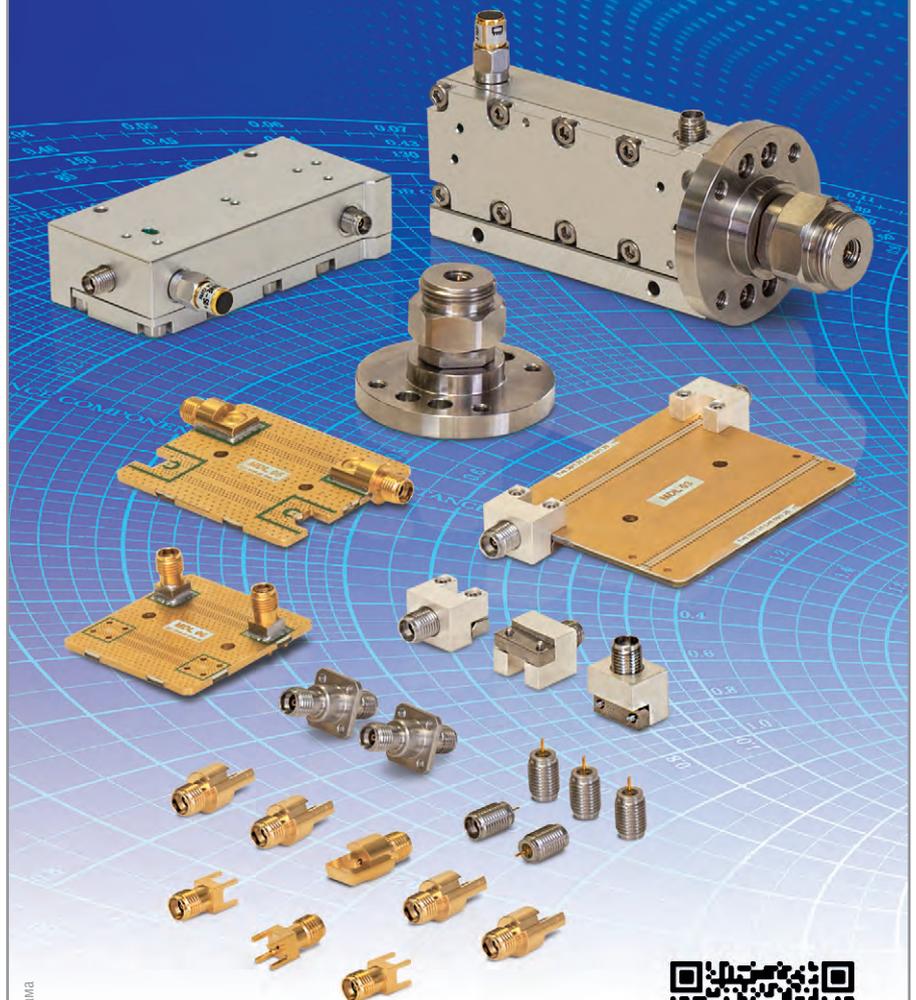
### Погрешности измерений

Пределы абсолютной погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения представлены в виде формул. Подобный подход привёл к единому способу описания погрешности и позволил расширить диапазоны измерений указанных величин. Аналитическая формулировка отражает математическую модель векторного анализатора и является более корректной с физической точки зрения.

Наряду с формулами в эксплуатационной документации приводятся альтернативные способы представления погрешности: в виде графиков и аппроксимирующих ступенчатых кривых. На рисунках 8 и 9 показаны два способа представления погрешностей коэффициентов отражения и передачи. Для обеспечения максимальной повторяемости результатов измерений даны соответствующие рекомендации по подключе-

## Элементы СВЧ тракта

- Направленные ответвители
- Переходы панельные в тракте 3,5 мм
- Переходы в тракте 2,92 мм:
  - Блочные
  - Торцевые
  - Торцевые экранированные
  - Вертикальные экранированные



Реклама



ООО «НПК ТАИР»  
+7 (3822) 901163

www.npktair.com  
tairtomsk@gmail.com



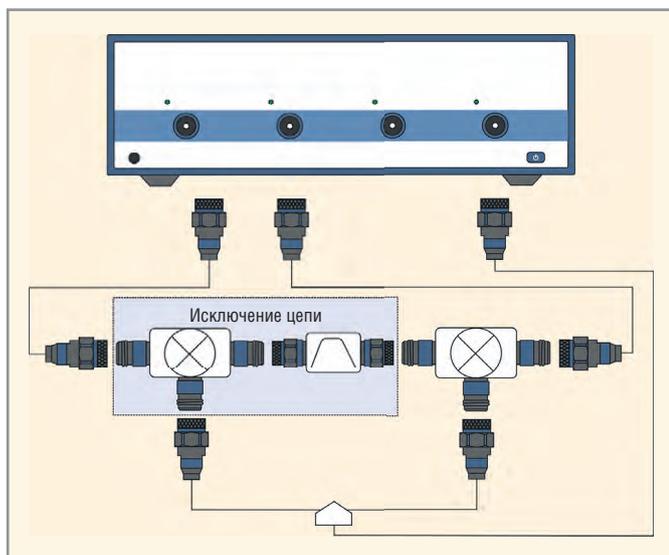


Рис. 6. Измерение параметров смесителя с помощью четырёхпортового прибора

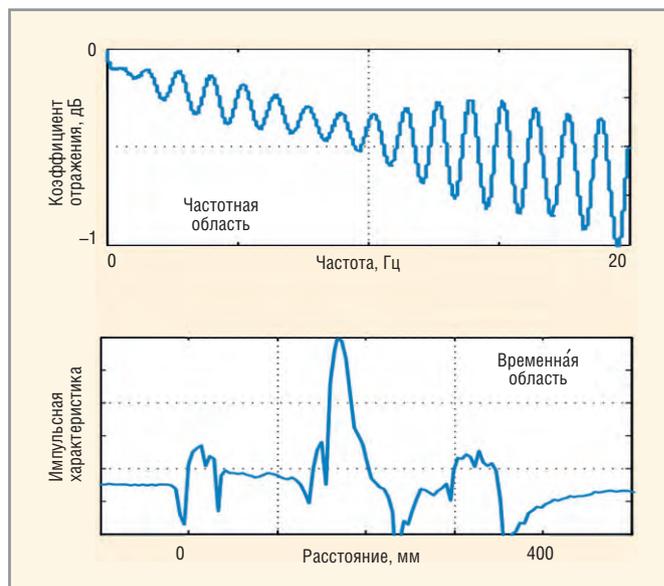


Рис. 7. Расчёт импульсной характеристики цепи

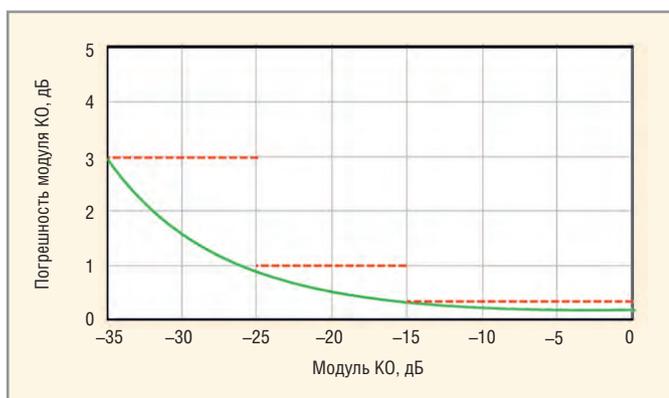


Рис. 8. Погрешность измерений модуля коэффициента отражения

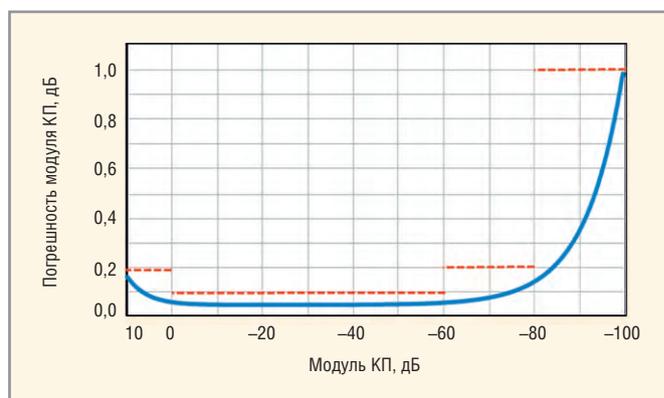


Рис. 9. Погрешность измерений модуля коэффициента передачи

нию устройств и оперативной проверке качества их соединителей.

**VNA Performance Test**

Было разработано специализированное программное обеспечение VNA Performance Test, позволяющее в любой момент времени провести верификацию прибора с требуемым комплектом принадлежностей для подтверждения его характеристик.

В программном обеспечении VNA Performance Test использованы распространённые и простые решения – кнопки, поля для ввода, таблицы и графики. Наличие встроенной инструкции позволяет выполнить проверку без обращения к руководствам по эксплуатации или иным документам. Случайные действия пользователя не приведут к утрате результатов измерений или сбою в работе.

За проверку приборов одного типа отвечает отдельный программный модуль с набором тестов и инструкций. Каждый модуль обладает общи-

ми чертами: внешний вид, основные функции и управляющие элементы, справка.

Программа автоматически устанавливает параметры анализатора, такие как частотный диапазон, количество точек по частоте, уровень выходной мощности и полосу пропускания фильтра промежуточной частоты.

VNA Performance Test предоставляет возможность проверки анализаторов в автоматическом режиме. Возможна также проверка и без использования автоматизации – вручную.

Форма представления результатов универсальная и соответствует рекомендациям международных документов по метрологии. VNA Performance Test отображает результаты измерений в виде таблиц и графиков. Все графики поддерживают возможность масштабирования. Для их анализа удобно использовать реализованные в программе маркеры. Полученные результаты могут быть сохранены в файл и/или напечатаны в форме протокола.

Заключение о соответствии формируется автоматически по результатам проведения каждой операции.

Программное обеспечение поддерживает несколько методов определения погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, в зависимости от доступной эталонной базы.

- Метод 1 (метод сравнения) – с использованием эталонного набора калибровочных мер.
- Метод 2 (прямой) – с использованием верификационного набора мер.
- Метод 3 (прямой) – при помощи фиксированного аттенюатора, с ослаблением не менее 30 дБ, и нагрузки короткозамкнутой со смещением с известными метрологическими характеристиками (для сокращения количества аттенюаторов при проверке и имитации измерений в широком диапазоне коэффициента передачи измерения выполняются при двух уровнях выходной мощности).

● Метод 4 (прямой) – при помощи отдельных мер коэффициентов отражения с известными метрологическими характеристиками, такими как нагрузки согласованные, рассогласованные и/или полного отражения, параметры которых отличаются от мер при «калибровке» прибора.

С помощью прямых методов определяются абсолютные погрешности путём сравнения измеренных и действительных значений параметров исследуемых устройств. Методика измерений, основанная на методе сравнения калибровок, представлена в МИ 3411-2013. Она позволяет определять отдельные составляющие погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения. Принцип метода состоит в последовательном проведении двух калибровок одного и того же анализатора с помощью двух разных средств (эталонного и пользовательского наборов мер) и поэлементном сравнении полученных данных. МИ 3411-2013 также может быть использована для определения погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения для анализаторов в волново-

де с сечением, отличающимся от измерительных портов.

Автоматизация поверки, заложенная и опробованная на этапе испытаний, поможет быстрее проводить рутинные операции и анализировать полученные данные. Также за счёт автоматизации снижается не только суммарное время проверки прибора, но и требования к квалификации персонала. Сложные математические вычисления выполняются автоматически, без участия пользователя.

Ручной метод может быть использован при поверке анализаторов в ограниченном диапазоне их применения. В этом случае поверитель может самостоятельно назначать контролируемые точки или диапазоны, не противоречащие указанным в методике поверки. Фиксацию результатов измерений допускается проводить согласно требованиям и в форме, предусмотренной системой качества организации, выполняющей поверку.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Векторные анализаторы цепей серии Кобальт зарегистрированы под

номером 65960-16 в реестре средств измерений [3]. Приборы могут быть поверены и полноценно эксплуатироваться на всех этапах разработки и производства СВЧ-электроники, включая работы по государственным контрактам.

По своим характеристикам, включая стабильность, динамический диапазон и скорость измерений, векторные анализаторы цепей серии Кобальт не уступают аналогам от известных зарубежных производителей и, в некоторых случаях, даже превосходят их.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Испытано! Анализаторы цепей векторные. [www.rostest.ru/news/72264/](http://www.rostest.ru/news/72264/).
2. Анализаторы цепей векторные. Руководство по эксплуатации. [www.planarchel.ru/Products/Measurement%20instrument/c1220/user\\_manual\\_Cobalt\\_part1\\_rus.pdf](http://www.planarchel.ru/Products/Measurement%20instrument/c1220/user_manual_Cobalt_part1_rus.pdf).
3. Свидетельство об утверждении типа средств измерений. Анализаторы цепей векторные C1205, C1207, C1209, C1214, C1220, C1409, C1420, C2209, C2409, C2220, C2420, C4209, C4409, C4220, C4420. [www.planarchel.ru/sertifikaty/certificate\\_cobalt.pdf](http://www.planarchel.ru/sertifikaty/certificate_cobalt.pdf).



## Новости мира News of the World Новости мира

### В 2017 г. мировые расходы на мобильные решения достигнут \$1,57 трлн

IDC опубликовала обновлённый полугодовой прогноз мировых расходов на мобильные решения, согласно которому в 2017 г. они достигнут \$1,57 трлн, увеличившись на 2,6% по сравнению с прошлым годом. Ожидается, что расходы на оборудование, ПО и услуги продолжат устойчиво расти в последующие несколько лет, демонстрируя среднегодовой темп роста (в сложных процентах, CAGR) 2,1% на протяжении прогнозного периода 2015–2020 гг., и достигнут \$1,67 трлн в 2020 г.

Услуги предоставления связи будут составлять самую большую категорию расходов на мобильные решения в 2017 г. Следом идут потребительские и корпоративные покупки смартфонов, планшетов и портативных ПК. Расходы на связь и оборудование, вместе взятые, принесут более 95% всего дохода на мобильном рынке в этом году. При этом приблизительно две трети будут приходиться на потребительский сегмент. Большую часть остального дохода обеспечат корпоративные закупки мобильных услуг, приложений, платформ разра-

ботки приложений и средств безопасности. Хотя расходы на оборудование и услуги будут доминировать в общей сумме расходов на мобильные решения, расходы на мобильные приложения и на платформы их разработки продемонстрируют самый высокий пятилетний темп роста (CAGR) – 17,3% и 20,3%, соответственно.

Банковская сфера, дискретное производство и профессиональные услуги будут тремя коммерческими сегментами с самым большим объёмом инвестиций в мобильные решения в 2017 г. (в общей сложности \$166,3 млрд) и на протяжении прогнозного периода. Все эти три сегмента продемонстрируют значительные инвестиции в платформы разработки приложений, сами приложения и корпоративные мобильные услуги, облегчающие планирование, разработку и потребление услуг с использованием мобильных устройств. В сегменте телекоммуникаций будет наблюдаться самый быстрый рост расходов на протяжении прогнозного периода 2015–2020 гг. (CAGR 4,2%). Следом идут непрерывное производство, поставщики медицинских услуг и строительство. Потребительские расходы на мобильные технологии, согласно прогнозу, будут расти с пятилетним CAGR 2,5%.

Что касается размеров компаний-заказчиков, то мелкие фирмы (со штатом 1–9 человек) обеспечат самую большую долю мировых расходов на мобильные решения, покупая мобильные устройства, платя за услуги предоставления связи и мобильные сервисы. Этот сегмент продемонстрирует самый высокий среднегодовой темп роста за 5 лет – 2,6%. Крупные и очень крупные организации (более 500 человек) инвестируют в этом году более \$2,7 млрд в платформы разработки мобильных приложений и в сами приложения, стремясь повысить продуктивность работы сотрудников.

Что касается картины по регионам, то Азиатско-Тихоокеанский регион без Японии, благодаря значительным инвестициям в Китае, будет крупнейшим рынком по сумме расходов на мобильные решения. IDC ожидает, что они превысят \$500 млрд в 2018 г. США – второй крупнейший по расходам регион. Следом идёт Западная Европа. Самый высокий темп роста расходов ожидается в Латинской Америке (CAGR 4,1%). Азиатско-Тихоокеанский регион без Японии, Ближний Восток и Африка (MEA) также продемонстрируют рост расходов выше рынка в целом.

IDC



# Элементы ограничения импульсного напряжения типа ЭОН

Валерий Колосов (Москва)

Статья описывает ряд унифицированных варисторных модулей типа ЭОН – элементов ограничения импульсного напряжения, снижающих высоковольтные сетевые импульсы с амплитудами в единицы киловольт до уровней в сотни вольт, и имеющих длительности от единиц микросекунд до единиц миллисекунд, возникающие в сетях электроснабжения 380/220 В при молниевых, коммутационных и преднамеренных электромагнитных воздействиях.

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка модулей типа ЭОН выполнена с целью комплектации устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), а также для их установки на сетевых вводах источников вторичного электропитания (ИВЭ) и источников бесперебойного питания (ИБП).

Первое применение ЭОН выполнено в сетевых защитных модулях типа СЗМ-АС-3,0-220 (ОКР «Сезам-1», выполненная в АО «НИИ вычисли-

тельных комплексов им. М.А. Карцева» [1]). Модули СЗМ-АС-3,0-220 представляют собой многофункциональные УЗИП с диапазоном длительностей ограничиваемых импульсов от единиц микросекунд до единиц миллисекунд, что является их существенным отличием от широко представленных на мировом рынке силовой электроники УЗИП, регламентирующих ограничение напряжения импульсов длительностью 50 или 350 мкс. Коммутационные и преднамеренные силовые электро-

магнитные воздействия в соответствии со стандартами [2, 3] могут создавать сетевые импульсы с длительностью до 20 мс при амплитудах до 10 кВ.

Перечень разработанных модулей ЭОН со справочными данными представлен в таблице 1. В обозначения модулей введены номинальные уровни напряжения ограничения (кВ) –  $U_{о,ном}$ , при номинальных амплитудах импульсов тока (кА) –  $I_{и,ном}$ , значения которых принимаются как многократно допустимые при импульсе 8/20 мкс.

Выбранный ряд ЭОН обеспечивает возможность выполнения требования стандарта [4] по ограничению максимально допустимой амплитуды импульсного напряжения на выходе УЗИП на уровне не более 500 В. В таблице 1 также приведены средние значения падения напряжения на ЭОН при токе в 1 мА и максимально допустимые напряжения сети переменного тока (действующие значения). При установке ЭОН в сетях постоянного тока максимально допустимое напряжение сети должно быть менее падения напряжения на ЭОН при 1 мА.

На рисунке 1 приведены осциллограммы импульсов тока и напряжения ограничения модуля типа ЭОН-0,90-0,5, использованного в изделии СЗМ-АС-3,0-220.

Модули разработаны в двух модификациях: без информационных выводов об их состоянии и с информационными выводами. Во второй модификации к обозначению модуля добавляется индекс «И». Модули также разделяются на ЭОН с возможностью их установки с параллельным соединением и для отдельного включения в аппаратуру. В первом случае к обозначению модуля добавляется индекс «П».

Модули ЭОН содержат печатную плату с варисторами, элементами тепловой и электрической перегрузок, установленную в пластиковый корпус, герметично залитый компаундом. Габаритные размеры модулей – 32 × 27 × 21 мм (без выводов), масса – не более 25 г. Максимальная рассеиваемая мощность – 2 Вт. На рисунке 2 приведена фотография модуля.

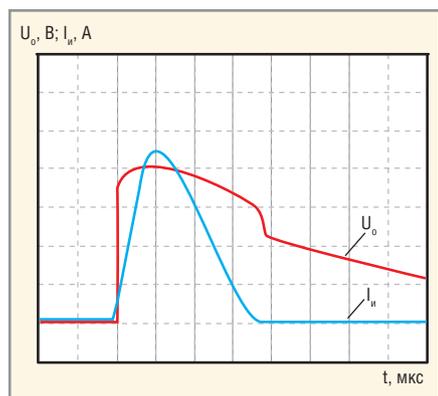


Рис. 1. Осциллограммы импульса тока  $I_{и}$  и напряжения ограничения  $U_{о}$  модуля ЭОН-0,90-0,5 (10 мкс/дел., 100 А/дел., 200 В/дел.)

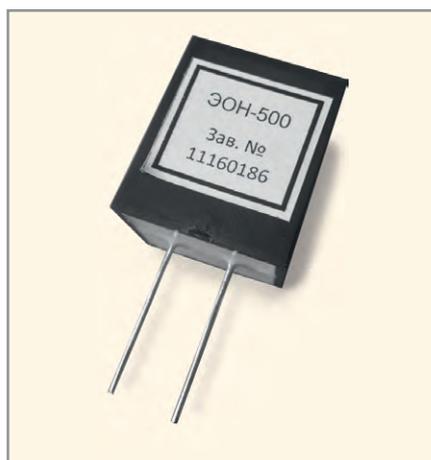


Рис. 2. Фотография модуля ЭОН

Таблица 1. Справочные данные модулей ЭОН

Параметр модуля	Обозначение модуля									
	ЭОН-0,95-0,4	ЭОН-0,90-0,5	ЭОН-0,85-0,6	ЭОН-0,75-0,7	ЭОН-0,70-0,8	ЭОН-0,65-0,9	ЭОН-0,60-1,0	ЭОН-0,55-1,1	ЭОН-0,50-1,2	ЭОН-0,45-1,3
Номинальное напряжение ограничения при номинальной амплитуде импульса тока, $U_{о,ном}$ , В	950	900	850	750	700	650	600	550	500	450
Номинальная амплитуда импульса тока, $I_{и,ном}$ , А	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Падение напряжения при 1 мА, $U_{п1}$ , В	560	510	470	430	390	360	330	300	270	240
Максимально допустимое значение действующего напряжения сети, $U_{с,макс}$ , В	350	320	300	275	250	230	210	195	175	150

Разброс напряжений относительно уровней  $U_{оном}$  и  $U_{пн}$  составляет не более  $\pm 10\%$ . Температурный коэффициент напряжения на ЭОН не превышает  $\pm 2\%$  в интервале  $-5...+40^\circ\text{C}$ .

На рисунке 3 показаны усреднённые вольт-амперные характеристики ЭОН в диапазоне токов от 20 до 2000 А, измеренные при импульсе тока 8/20 мкс.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МОДУЛЕЙ ЭОН

Для варисторов фирмы EPCOS и других производителей даются значения максимальной энергии абсорбции, определяемой при токе с длительностью 1 или 2 мс. В таблице 2 приведены экспериментальные величины предельной энергии ЭОН  $W_{зон пред}$ , которые могут привести к выходу ЭОН из строя, при длительности импульсов тока  $t_{и}$  от 20 до 10 000 мкс.

Значения предельной энергии ЭОН при предельных амплитудах импульсов тока  $I_{и пред}$  и напряжения ограничения  $U_{о пред}$  определяются из соотношения:

$$W_{зон пред} = k_{фи} \times U_{о пред} \times I_{и пред} \times t_{и}$$

где  $k_{фи}$  – коэффициент формы импульса, равный 1,0 для прямоугольного импульса и 0,7 – для экспоненциального импульса.

На рисунках 4 и 5 приведены экспериментальные зависимости предельных амплитуд импульсов тока и напряжения ограничения от длительности импульсов.

Необходимо отметить, что значения предельных параметров в таблице 2 и на рисунках 4 и 5 приведены для одиночного импульса. При нескольких импульсах, в зависимости от периода повторения  $T_{и}$ , величина  $W_{зон пред}$  существенно снижается. При этом минимальное значение  $T_{и}$  не должно превышать  $W_{зон пред} / P_{макс}$ , где  $P_{макс} = 2 \text{ Вт}$  – максимальная рассеиваемая мощность модуля ЭОН.

При многократных импульсных воздействиях на варисторные элементы происходит деградация структуры варистора, приводящая к снижению уровня напряжения ограничения. При достижении уровнем амплитуды напряжения сети напряжения ограничения через ЭОН протекает ток, нагревающий варисторный элемент

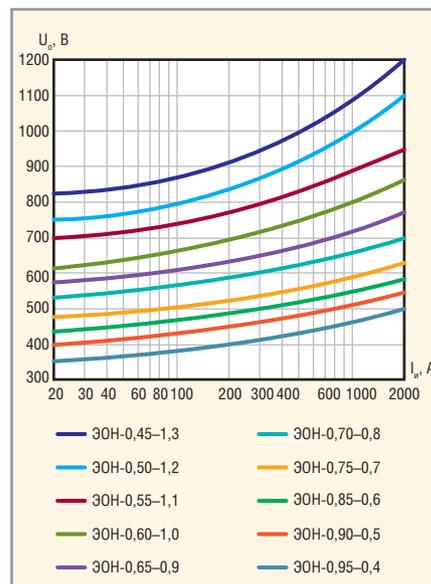


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики ЭОН

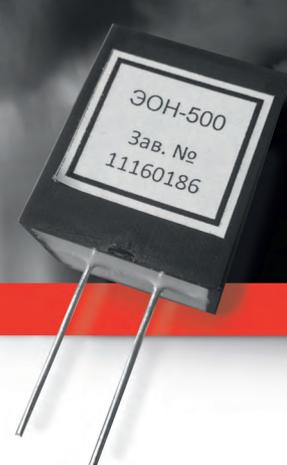
Таблица 2. Предельная энергия модулей ЭОН в зависимости от длительности импульса

Длительность импульса, $t_{и}$ , мкс	20	350	1000	2000	5000	10000
Предельная энергия модулей ЭОН, $W_{зон пред}$ , Дж	30	90	150	200	280	380



## ЭЛЕМЕНТЫ ОГРАНИЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Модули ЭОН

Необходимы в составе УЗИП, ИВЭ, ИБП

**Параметры**

- сеть 230 В
- ограничение до 400-800 В
- рассеиваемая энергия до 400 Дж
- параллельная работа

**Защита от**

- разрядов молний
- коммутационных выбросов
- преднамеренных электромагнитных воздействий

Реклама



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

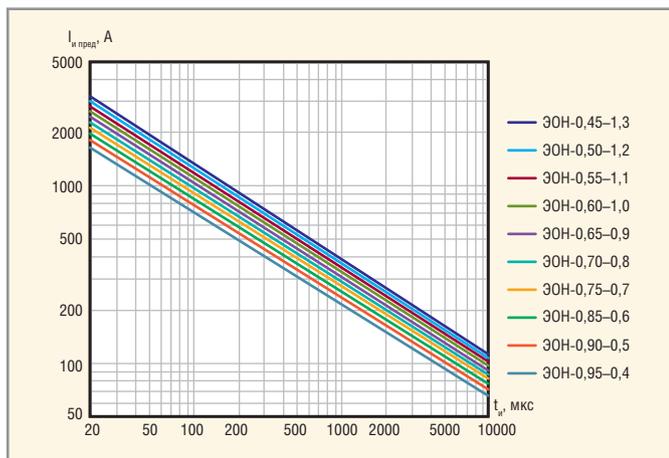


Рис. 4. Зависимости предельных амплитуд импульсов тока  $I_{и\ пред}$  от длительности импульсов  $t_{и}$

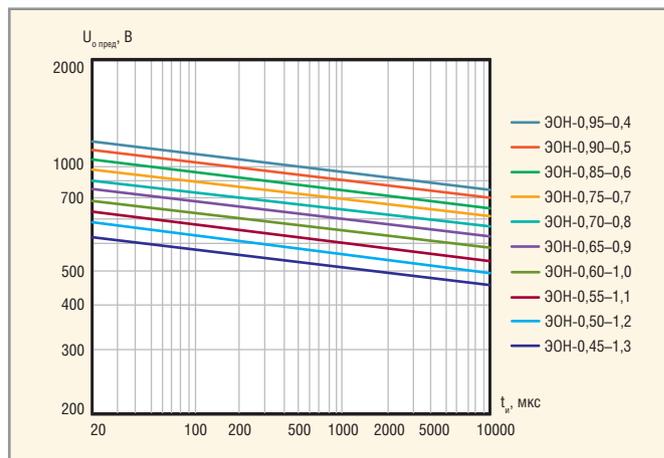


Рис. 5. Зависимости предельных напряжений ограничения  $U_{о\ пред}$  от длительности импульсов  $t_{и}$

и разрушающий его с возможностью взрыва и пожара. Для исключения отмеченных явлений ряд производителей устанавливает термopедoхранители. Такая защита применена и в модулях ЭОН.

В качестве второй защиты от возможного взрыва варистора при мощной кратковременной электрической перегрузке в ЭОН использованы быстродействующие плавкие вставки.

Применение двух видов защиты исключает взрывоопасность изделия с «эффектом гранаты». При появлении воздействий, существенно превосходящих по энергии  $W_{зон\ пред}$ , модуль ЭОН обеспечивает «мягкий взрыв» и пожаробезопасность быстрым отключением варисторного элемента, а также за счёт выбора негорючих материалов корпуса и заливочного компаунда. На рисунке 6 приведена фотография ЭОН после воздействия импульса с превышением энергии  $W_{зон\ пред}$  в несколько раз.

**Параллельное включение модулей ЭОН**

При параллельном включении защитных варисторных устройств крайне важна неравномерность распределения токов через них. Разность токов в ограничительных элементах свыше 50% от номинального тока, как правило, приводит к интенсивной деградации и выходу их из строя.

Эксперименты с модулями ЭОН, проведенными при номинальном токе  $I_{и\ ном}$ , при разбросе значений напряжения  $U_о$  менее 5% показали, что при параллельном соединении таких ЭОН со средним расчётным импульсным током через каждый ЭОН, равным  $I_{и\ ном}$ , неравномерность распределе-

ния токов находится в пределах 25%. Модулям ЭОН, удовлетворяющим условию разброса значений напряжения  $U_о$  менее 5%, добавляется в обозначение индекс «П».

Применение в УЗИП параллельно включаемых ЭОН, как это показано в [1], имеет ряд преимуществ по сравнению с построением УЗИП на основе одного мощного варистора. В настоящее время на рынке силовой электроники популярны варисторы фирмы EPCOS. По сравнению с широко используемыми мощными блочными варисторами этой фирмы, например, типа B80K320, применение большого числа ЭОН позволяет в значительной степени решить задачу горячего резервирования элементов устройства ограничения сетевых перенапряжений.

Наличие большого количества параллельно включённых ЭОН с использованием в них встроенных предохранителей на единицы ампер позволяет исключить «вторичные перенапряжения» в сети, имеющие место при применении УЗИП с установкой на входе для защиты варисторов общего предохранителя с током срабатывания в сотни ампер, при разрыве которого «вторичные перенапряжения» могут быть соизмеримы с перенапряжениями, приходящими из сети.

Использование ЭОН с индексом «И» позволяет следить за количеством вышедших из строя модулей. На рисунке 7 приведена схема контроля состояний ЭОН, где A1...AN – модули ЭОН с силовыми (1, 2) и информационными (3, 4) выводами, VD1...VD(N+1) – маломощные диоды, R1, R2 – измерительные резисторы, У1 – пороговое устройство. При рабочем состоянии ЭОН

через диоды приходит ток на измерительные резисторы. Отсутствие вышедших из строя ЭОН – максимальное напряжение на измерительных резисторах. При снижении уровня напряжения на резисторах до заданного значения, соответствующего определённому числу вышедших из строя ЭОН, срабатывает пороговое устройство, формируя в УЗИП, ИВЭ, ИБП индикацию и при необходимости сигнал на защищаемую радиоэлектронную аппаратуру.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Модули типа ЭОН предназначены для применения как на сетевых вводах источников вторичного и бесперебойного питания, так и в устройствах защиты от мощных импульсных перенапряжений типа УЗИП с возможностью параллельного соединения значительного числа ЭОН, обеспечивающего «горячее резервирование» и, как следствие, повышение показателей надёжности изделий, выполняемых с использованием модулей ЭОН.

Диапазон напряжений ограничения предлагаемого набора модулей ЭОН составляет от 1000 до 400 В при амплитудных значениях импульсов тока от десятков ампер до 1000 А, что позволяет создавать УЗИП с напряжением ограничения менее 1000 В, а также выполнять требование ГОСТ Р 56115-2014 по ограничению преднамеренных силовых импульсных перенапряжений на уровне не более 500 В.

Энергия возможного разрушения модулей ЭОН при максимальной длительности импульса 10 мс составляет около 400 Дж, что обеспечивает построение УЗИП, соответствующих ряду требований ГОСТ Р 52863-2007 по испы-

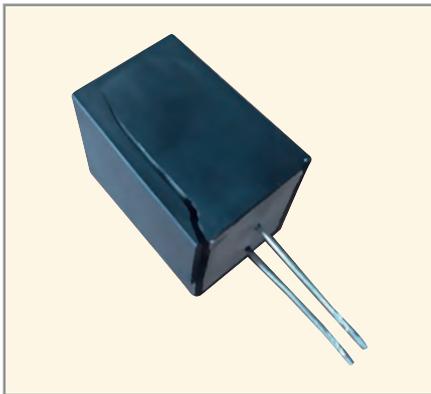


Рис. 6. Фотография ЭОН, вышедшего из строя

таниям на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям.

Информационные выводы, предусмотренные в модификации ЭОН, дают возможность формировать в изделиях УЗИП, ИВЭ, ИБП сигналы о состоянии ЭОН, сообщающие о необходимости проведения ремонта изделия.

Схемотехнические и конструкторско-технологические решения, принятые при создании модулей ЭОН, обеспечивают высокие показатели взрыво- и пожаробезопасности.

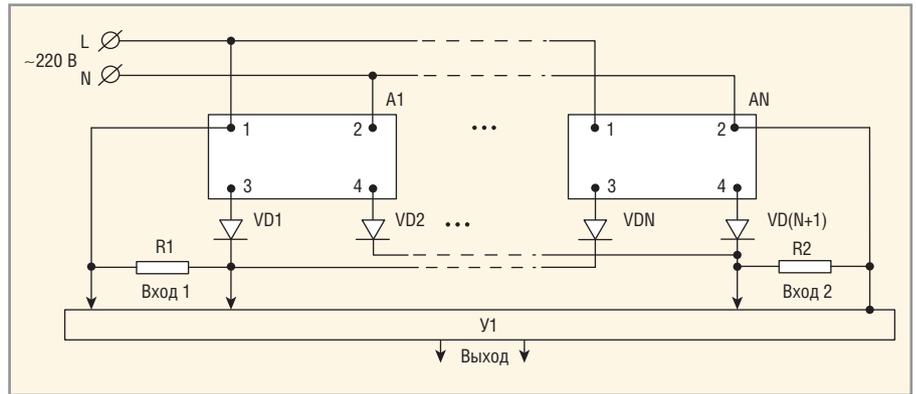


Рис. 7. Схема контроля состояний ЭОН

Модули ЭОН, являясь импортозаменяемыми изделиями, рекомендуются к применению в устройствах, решающих задачи импортозащещения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Колосов Валерий, Кириллов Александр. Сетевой защитный модуль СЗМ-АС-3,0-220. Современные технологии автоматизации. 2016. №2.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснаб-

жения общего назначения. М. Стандартинформ. 2014.

3. ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищённом исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования. М. Стандартинформ. 2008.
4. ГОСТ Р 56115-2014. Защита информации. Автоматизированные системы в защищённом исполнении. Средства защиты от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий. Общие требования. М. Стандартинформ. 2015.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Рынок Интернета вещей в Центральной и Восточной Европе будет расти до 2020 г.

В 2016 г. расходы на Интернет вещей в Центральной и Восточной Европе достигли впечатляющей суммы – \$11 млрд, так как организации увеличивают инвестиции в оборудование, ПО, услуги и сети связи, являющиеся ключевыми компонентами IoT. Согласно обновлённому полугодовому прогнозу IDC, расходы на IoT в этом регионе будут демонстрировать среднегодовой темп роста (в сложных процентах, CAGR) 21,5% на протяжении прогнозного периода 2016–2020 гг., достигнув \$24 млрд в 2020 г.

Самые крупные инвестиции в IoT в этом регионе в 2016 г. ожидаются в сегменте транспортных перевозок (\$2,3 млрд). Следом идут производственная сфера (\$2,1 млрд) и коммунальное хозяйство (\$1,2 млрд), так как организации в этих вертикалях стремятся перевести бизнес-процессы на цифровые технологии, повысив эффективность по разным направлениям деятельности. Потребительский сегмент также фигурирует среди главных источников дохода на рынке IoT на протяжении пятилетнего прогнозного периода. Самый быстрый рост расходов

в Центральной и Восточной Европе будет наблюдаться в страховании, строительстве, в сегменте транспортных перевозок, а также в сфере межотраслевых инвестиций в IoT (области применения с охватом разных отраслей: автомобили с интернет-телематикой или интеллектуально управляемые системы обслуживания зданий).

Учитывая, что транспортные перевозки будут крупнейшим сегментом расходов на рынке IoT, неудивительно, что контроль над движением грузов привлечёт самый большой объём инвестиций заказчиков (\$1,6 млрд в 2016 г.), как нельзя лучше подчёркивая растущую важность контроля над прохождением товаров и повышения эффективности. Производственные операции, второй по величине сегмент IoT-расходов в регионе (\$1 млрд), направленных на внедрение цифровых технологий в производство, составит большую часть расходов на IoT в данной сфере. Другие области применения IoT, внедряемые в сфере производства, – это управление производственными фондами и эксплуатационно-техническое обслуживание. В сфере коммунального хозяйства совокупные инвестиции в интеллектуальные системы энерго- и газоснаб-

жения в 2016 г. составят \$1,1 млрд. Потребительские расходы на технологии Умного дома более чем удвоятся на протяжении прогнозного периода. К 2020 г. они превысят \$1,1 млрд. В сфере страхования главным направлением инвестиций будет телематика, а в строительной отрасли – управление строительной техникой. Ритейлеры уже инвестируют в различные применения IoT, в том числе в подключённые к интернету торговые автоматы и контекстно-обусловленный маркетинг в торговом зале.

Что касается самой технологии, то услуги будут оставаться самой большой категорией расходов в последующие годы (почти \$7 млрд к 2020 г.). Далее идут оборудование, ПО и каналы связи. И хотя расходы на услуги более чем удвоятся за пятилетний период, это будет самая медленно растущая категория, а расходы на оборудование и на ПО будут расти быстрее, чем на услуги и каналы связи. В расходах на оборудование будут доминировать закупки датчиков и модулей для подключения устройств к сетям, а в расходах на программное обеспечение IoT более половины будет приходиться на прикладное ПО.

www.crn.ru

# Применение инструментального усилителя для мостового включения двух мощных ОУ

## Часть 1

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье описан двухканальный аудиоусилитель, построенный на мощных операционных усилителях (ОУ) LM3886, включённых в мостовом режиме, с использованием инструментального усилителя (ИУ) AD9825. Мостовое включение двух идентичных инверторов на мощных ОУ в каждом канале, управляемое ИУ, позволяет не только ослабить искажения, но и снизить напряжения питания до  $\pm 12$  В, уменьшить массогабаритные параметры, стоимость блока питания, а также его нагрев. Применение ИУ позволяет напрямую подключить к нему высокоомный регулятор громкости и исключить из схемы разделительные конденсаторы.

### ВВЕДЕНИЕ

Мостовое включение двух мощных ОУ, применяемых в усилителях мощности звуковой частоты (УМЗЧ), незаслуженно не пользуется большой популярностью. Представление о том, что при включении двух ОУ в мостовом режиме работы можно несколько поднять мощность, является поверхностным. Досконально разобраться в сути мостового включения зачастую мешают экономические соображения, поскольку такой режим требует двух ОУ, что значительно увеличивает стоимость устройства. Поднять мощность ОУ можно и более простым способом. Например, повышением напряжения его питания. Однако повышение напряжения питания приводит к появлению других проблем. В част-

ности, существенно увеличиваются стоимость, габариты и вес блока питания, а также нагрев самого усилителя.

Основная особенность мостового включения состоит не только в увеличении мощности. Главное преимущество мостового включения – в удвоении амплитуды выходного сигнала по сравнению со стандартным включением. На первый взгляд может показаться, что удвоить амплитуду можно также более простым способом – удвоением коэффициента усиления ОУ. Однако это не совсем так, а точнее, совсем не так.

### Принцип действия мостового включения

Что же собой представляет мостовое включение, и в чём его основное преимущество перед стандартным? Для ответа на этот вопрос обратимся к рисунку 1.

Пусть с выхода первого ОУ (например, верхнего на рисунке 1) поступает синусоидальный сигнал  $U_+(t)$  с амплитудой  $A$ , а со второго – инверсный по отношению к первому сигнал  $U_-(t)$  с той же амплитудой. Нетрудно заметить, что если подключить нагрузку  $R_n$  к выходам обоих ОУ, т.е. «проложить мост» в виде резистора  $R_n$  между ними (отсюда и название способа включения), то амплитуда сигнала на нагрузке  $U_R$  будет равна удвоенному значению амплитуды  $A$ , т.е.  $U_R = 2A$ , поскольку амплитуды обоих сигналов складываются. Здесь следует заметить, что по сравнению со стандартным включением ОУ, где нагрузка заземле-

на (т.е. имеет постоянный потенциал, равный нулю), в мостовом включении потенциал «земли» «плавает». Другими словами, когда потенциал верхнего по схеме вывода резистора (+) достигает максимума (равного  $+A$ ), потенциал нижнего вывода (–) достигает минимума, равного  $-A$ , и наоборот.

Рассмотрим, какую практическую выгоду можно получить при мостовом включении.

Пусть напряжения источника питания составляют  $\pm 20$  В с максимальным током нагрузки 10 А, т.е. максимальная мощность составляет  $20 \text{ В} \times 2 \times 10 \text{ А} = 400 \text{ Вт}$ . Если использовать стандартное включение ОУ, то, с учётом напряжения отсечения (Clipping Voltage), равного для такого напряжения питания около 3 В, максимальная амплитуда выходного сигнала ОУ будет составлять  $20 \text{ В} - 3 \text{ В} = 17 \text{ В}$ . Другими словами, с учётом запаса, например, в 1 В, при напряжениях питания  $\pm 20$  В амплитуда выходного сигнала не должна превышать 16 В, иначе неизбежны искажения.

Пусть при мостовом включении амплитуда выходного сигнала каждого ОУ (см. рис. 1) составляет 8 В. Тогда на сопротивлении нагрузки получим удвоенную амплитуду (16 В), как и при стандартном включении. При этом разница между напряжением питания и амплитудой выходного сигнала для каждого ОУ составит уже  $20 \text{ В} - 8 \text{ В} = 12 \text{ В}$ , что намного больше напряжения отсечения (3 В). Это означает, что если мгновенное значение выходного напряжения одного ОУ кратковременно превысит амплитуду 8 В, например, на 2–3 В, то никакие искажения не возникнут. Таким образом, динамический диапазон выходных напряжений усилителя, построенного на двух ОУ в мостовом включении, значительно расширяется. Это имеет очень существенное значение, если в качестве НЧ-сигнала используется звуковой сигнал. Форма такого сигнала в подавляющем большинстве случаев представляет собой некую сумму синусоид с небольшим среднеквадра-

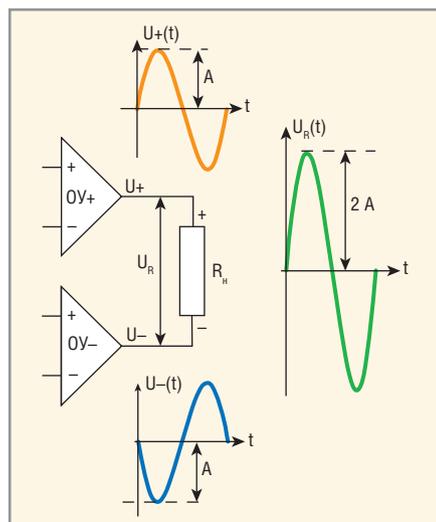


Рис. 1. Амплитуды сигналов при мостовом включении двух ОУ

тическим отклонением (т.е. с относительно постоянным средним значением амплитуд) с включением коротких импульсов, которые могут превышать среднее значение в 1,5–2 раза (так называемые «иголки»). Если амплитуда такой «иголки» превысит значение 16 В на несколько вольт, то в обычном включении ОУ она неизбежно будет «срезана» на уровне 17 В, что повлечёт за собой существенные искажения, уже воспринимаемые на слух. В мостовом же включении ОУ такая «иголка» будет воспроизведена идеально, без каких-либо искажений.

Повышение напряжения питания с 20 до 25–30 В при обычном включении позволит воспроизвести сигнал без искажений, но тогда увеличится нагрев ОУ, что потребует применения более мощного радиатора охлаждения и более мощного трансформатора. Это приведёт к существенному увеличению габаритов, веса и стоимости всей конструкции.

Изложенное означает, что при мостовом включении ОУ источник питания может быть менее мощным и, соответственно, менее доро-

гим. Так, например, трансформатор с двумя обмотками по 20 В и током 10 А на 1,5–2 тысячи рублей дешевле трансформатора с двумя обмотками по 30 В с тем же током. Стоимость одной микросхемы одноканального ОУ (например, LM3886), составляет всего 200–250 рублей. Стоимость двухканального ОУ LM1876 и того меньше – не более 120 рублей за штуку. В итоге мостовое включение ОУ удорожает конструкцию не более чем на 500 рублей (все цены приведены на начало 2017 г).

Таким образом, можно заключить, что амплитуда сигнала в мостовом включении может достигать суммы напряжений положительного и отрицательного напряжений питания за вычетом напряжений отсечения по каждому из напряжений питания. Если, например, напряжения питания составляют  $\pm 20$  В, а напряжения отсечения – около 3 В, то максимальная амплитуда сигнала в мостовом включении может достигать  $(20 \text{ В} - 3 \text{ В}) \times 2 = 34 \text{ В}$ . Отсюда, в частности, следует, что применение мостового включения мощных ОУ повышает эффектив-

ность использования источника питания и всего усилителя почти в два раза.

Необходимо отметить, что сопротивление нагрузки, приходящееся на каждый из ОУ в мостовом включении, в два раза ниже общего сопротивления нагрузки  $R_n$ . Действительно, если посмотреть на рисунок 1, то можно заметить, что при одинаковых по абсолютному значению напряжениях противоположной полярности, приложенных к верхнему (+) и нижнему (-) выводам сопротивления нагрузки  $R_n$ , его средняя точка будет иметь нулевой потенциал, т.е. потенциал «земли». А это, в свою очередь, означает, что каждый из ОУ в мостовом включении работает на половинную нагрузку  $R_n / 2$ , подключённую к «земле». Например, если  $R_n = 4 \text{ Ом}$ , то каждый из ОУ, если рассматривать его в обычном включении, работает на нагрузку  $R_n / 2 = 2 \text{ Ом}$ . Это достаточно тяжёлый режим работы ОУ, поскольку существенно увеличивается ток нагрузки  $I_n$ , а максимальный выходной ток ОУ ограничен. Например, у ОУ LM3886 максимальный выходной ток не превыша-

Новое поколение GaN-транзисторов

**WolfSpeed**

<p><b>CGHV14250</b>            Диапазон частот: 1200–1400 МГц            Мощность: 250 Вт            Коэффициент усиления: 18 дБ</p>	<p><b>CGHV14500</b>            Диапазон частот: 1200–1400 МГц            Мощность: 500 Вт            Коэффициент усиления: 17 дБ</p>	<p><b>CGHV35150</b>            Диапазон частот: 2900–3500 МГц            Мощность: 150 Вт            Коэффициент усиления: 13,5 дБ</p>
--	--	--

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ WOLFSPPEED**

**ProCHIP**  
POWERED BY ProSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

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

Реклама

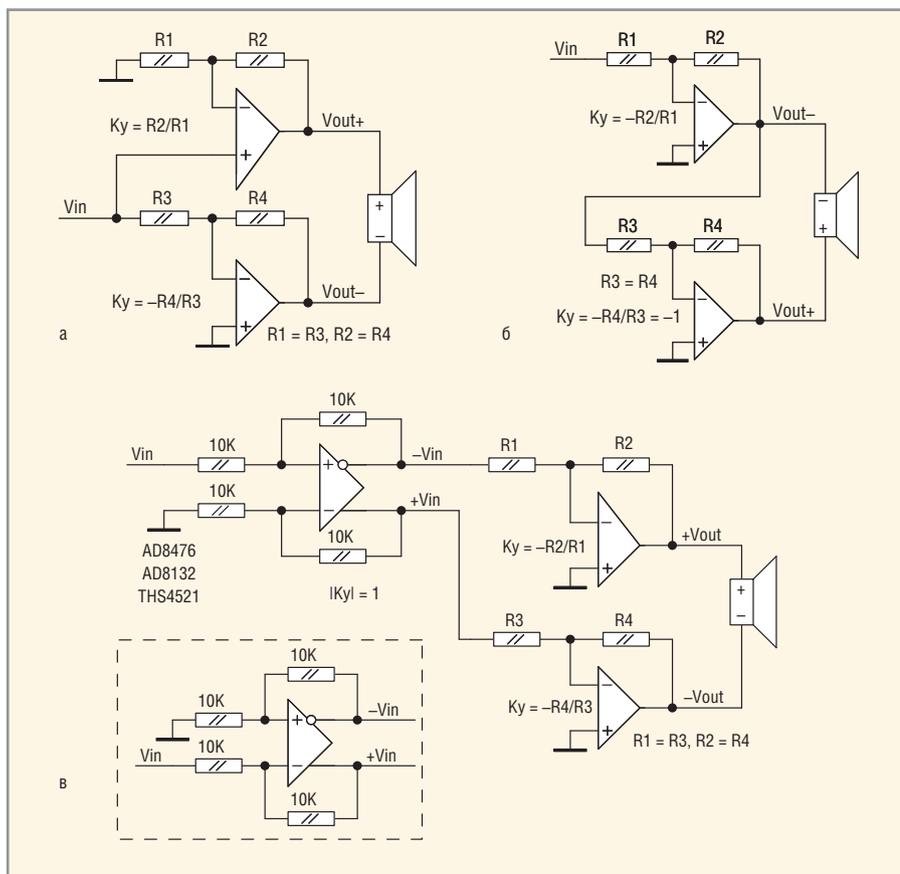


Рис. 2. Упрощённые варианты известных схем мостового включения мощных ОУ:

а – рекомендуемая производителями; б – оба ОУ включены в инвертирующем режиме; в – использован ОУ с дифференциальными (парафазными) выходами

ет 7 А, а у ОУ LM1876 – не более 3,5 А по каждому каналу.

Таким образом, при  $R_n = 4$  Ом и сопротивлении нагрузки, приходящемся на каждый из ОУ,  $R_n / 2 = 2$  Ом, при токе нагрузки  $I_n = 4$  А максимальная амплитуда сигнала каждого из ОУ LM3886 не должна превышать  $A_{max,ou} = I_n \times R_n / 2 = 8$  В. Максимальная амплитуда полного сигнала при мостовом включении двух ОУ будет в два раза больше,  $A_{max} = 16$  В. Учитывая, что при питании  $\pm 20$  В сумма напряжений питания составляет 40 В, возникает соблазн несколько снизить эти напряжения, например до 25 В (т.е. до  $\pm 12,5$  В по каждому из напряжений). Оказывается, что это вполне возможно сделать, и, более того, как будет показано далее, не приведёт к каким-либо дополнительным искажениям.

Если считать, что максимальный ток нагрузки по каждому каналу ОУ LM1876 составляет  $I_n = 3$  А, то  $A_{max,ou} = I_n \times R_n / 2 = 6$  В и  $A_{max} = 12$  В. Для LM1876 снизить напряжения питания до  $\pm 12,5$  В также вполне допустимо (согласно спецификации, минимальные напряжения питания этой микросхемы составляют  $\pm 10$  В).

Представляет интерес эксперимент с ещё одной популярной микросхемой – мощным ОУ TDA7293. Хотя в спецификации для неё указаны минимальные напряжения питания  $\pm 12$  В, при питании напряжениями  $\pm 20$  В и частоте сигнала 1 кГц эта микросхема в мостовом включении на нагрузке 4 Ом способна выдавать амплитуду сигнала  $A_{max} = 16$  В (как и LM3886). Однако на частоте 20 кГц при таком питании максимальная амплитуда выходного сигнала ОУ TDA7293 не достигает и 4 В, а при дальнейшем увеличении амплитуды входного сигнала выходной синусоидальный сигнал превращается в треугольный и больше не возрастает. В связи с этим использовать данную микросхему при напряжениях питания  $\pm 20$  В и ниже не рекомендуется.

Таким образом, мостовое включение ОУ позволяет значительно снизить напряжения питания, если это допускается характеристиками ОУ. Однако негативное отношение к мостовому включению вызвано не только необходимостью использования удвоенного количества ОУ по сравнению со стандартным включением. Ещё один

камень преткновения – известные схемные решения для мостового включения, которые, по сравнению со стандартным, имеют существенно больший коэффициент нелинейных искажений и шум (КНИ + Ш) и, помимо этого, не обходятся без разделительных конденсаторов. Рассмотрим эти схемы включения подробнее.

### ИЗВЕСТНЫЕ УПРОЩЁННЫЕ СХЕМЫ МОСТОВОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ДВУХ МОЩНЫХ ОУ

Самая распространённая схема мостового включения двух мощных ОУ (см. рис. 2а), рекомендуемая производителями, обладает несколькими недостатками. Во-первых, как видно из рисунка, один ОУ (верхний) включён в неинвертирующем режиме, а второй (нижний) – в инвертирующем. Как известно, неинвертирующий режим включения имеет несколько больший КНИ + Ш, чем инвертирующий, т.е. общий КНИ + Ш этой схемы явно повышен. Во-вторых, входное сопротивление схемы  $R_3$  составляет несколько кОм, что не позволяет подключить напрямую к этой схеме более высокоомный (десятки и даже сотни кОм) регулятор громкости. В-третьих, из-за наличия тока смещения и напряжения сдвига в обоих ОУ в выходном напряжении присутствует значительная постоянная составляющая. Для её исключения на входах обоих ОУ (а часто и на выходах) необходимы разделительные конденсаторы довольно большой ёмкости (до 47 мкФ). Конденсаторы должны быть достаточно высокого качества (а они габаритны и дороги), чтобы как можно меньше исказить сигналы. Однако применение разделительных конденсаторов неизбежно приводит к завалу АЧХ на НЧ и вносит дополнительный шум на СЧ и, особенно, на ВЧ. Поскольку схема на рисунке 2а – упрощённая, разделительные конденсаторы на ней не показаны.

Во второй схеме (см. рис. 2б) оба ОУ включены в инвертирующем режиме, однако коэффициент усиления нижнего ОУ равен минус единице. При таком коэффициенте усиления КНИ + Ш этого ОУ существенно выше, чем верхнего по схеме. Для минимизации искажений производители многих мощных ОУ не рекомендуют уменьшать коэффициент усиления ОУ ниже 10. Эта схема включения также обладает низким входным сопротивлением ( $R_1$ )

и нуждается в разделительных конденсаторах.

В третьей схеме (см. рис. 2в) на входе стоит ОУ с дифференциальными (парафазными) выходами. Оба мощных ОУ одинаково включены в инвертирующем режиме, поэтому имеют существенно сниженный КНИ + Ш. Однако входное сопротивление схемы низкое (в данном случае – 10 кОм), и подключать высокоомный регулятор громкости напрямую к ней нельзя. Кроме того, хотя ОУ с парафазными выходами и выдаёт два инверсных друг относительно друга выходных сигнала высокого качества, в выходном напряжении двух мощных ОУ всё равно будет присутствовать постоянная составляющая из-за наличия неизбежного тока смещения и напряжения сдвига. Это приведёт к тому, что опять придётся использовать разделительные конденсаторы (как на входах каждого из ОУ, так и на выходах). Кроме того, недорогие микросхемы ОУ с парафазным выходом, например, AD8132 и TNS4521, работают на частотах свыше 100 МГц, и их нерационально применять из-за достаточно высокого уровня шума, который они вносят в звуковом диапазоне. В нашем случае наиболее целесообразно применение прецизионного низкочастотного (до 250 кГц) ОУ AD8476, однако он очень дорог (500–800 рублей).

Таким образом, можно заключить, что ни одна из представленных на рисунке 2 схем не обеспечивает высокого качества выходного сигнала при работе с двумя мощными ОУ, включёнными по мостовой схеме.

### УПРОЩЁННАЯ СХЕМА МОСТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИУ AD8295

Тем не менее, при использовании инструментального усилителя, например, AD8295, получение высокого качества выходного сигнала от двух мощных ОУ, работающих в мостовом режиме включения, вполне возможно и реализуется достаточно просто (см. рис. 3). Никаких разделительных конденсаторов в этом случае не требуется, и, благодаря очень высокому входному импедансу ИУ, подключение к нему высокоомного регулятора громкости не составляет никакой проблемы.

В состав микросхемы AD8295, помимо ИУ (DA1.2), входят два вспомогательных ОУ. Один из них – обычный ОУ1 (DA1.1), второй – обычный ОУ2, дополненный двумя встроенными пре-

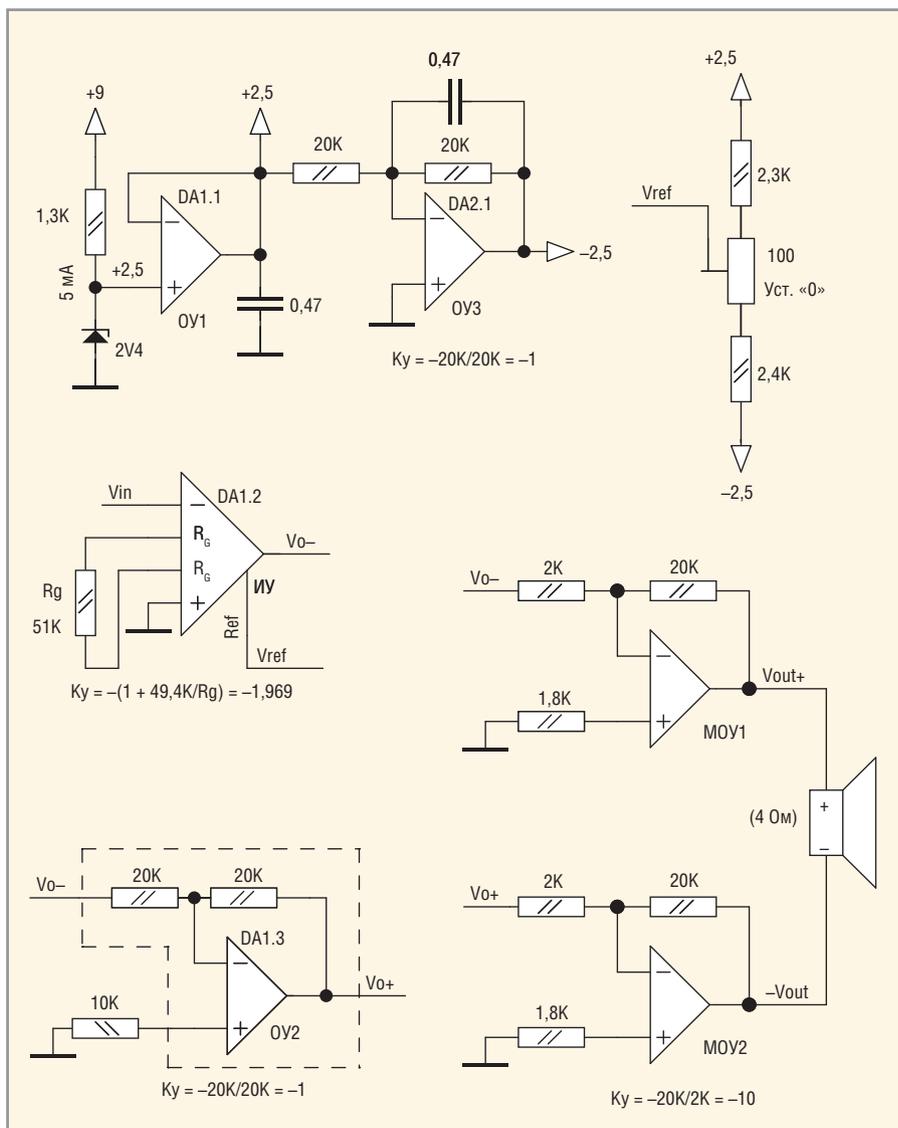


Рис. 3. Упрощённая схема одного канала мостового усилителя с использованием ИУ AD8295

IF/RF & Microwave Design

# Advantex

## СВЧ-блоки

Синтезаторы частот до 20 ГГц, -140 дБн/Гц @ 1 ГГц, при отстройке 10 кГц, умножители частоты  
Аттенюаторы, управляемые напряжением до 26 ГГц  
Усилители до 20 ГГц, 0.5 Вт  
I/Q модуляторы / демодуляторы, смесители, фильтры

## Приборы

Генераторы сигналов, электронные аттенюаторы, I/Q-модуляторы

www.advantex.ru

Реклама

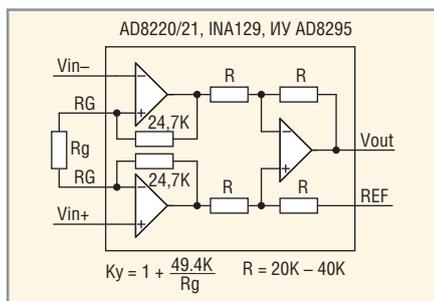


Рис. 4. Упрощённая схема стандартного ИУ

цизионными резисторами по 20 кОм каждый (DA1.3 с резисторами, обозначенный на схеме пунктиром).

Схема, представленная на рисунке 3, работает следующим образом. На выходе обычного стабилитрона с напряжением стабилизации 2,4 В (например, BZX384C2V4) и ОУ1 (DA1.1), работающего как повторитель, получается опорное напряжение +2,5 В, имеющее существенно сниженный выходной импеданс. Опорное напряжение подаётся на вход ОУ3, работающий в инвертирующем режиме и оснащённый НЧ-фильтром (конденсатор 0,47 мкФ в обратной связи). Выходное напряжение ОУ3 составляет –2,5 В. Оно также имеет низкий импеданс, поскольку снимается с выхода ОУ3. Оба опорных напряжения подаются на делитель напряжения, состоящий из двух постоянных резисторов (2,3 и 2,4 кОм) и одного подстроечного (100 Ом). Схема этого делителя показана в верхней правой части рисунка 3. С подстроечного резистора снимается опорное напряжение ( $V_{ref}$ ), которое подаётся на вход Ref ИУ (DA1.2). В связи с тем, что входное сопротивление входа Ref ИУ составляет десятки кОм (см. рис. 4), что на порядок больше номинальных значений резисторов делителя (2,3 и 2,4 кОм), а также с тем, что опорные напряжения +2,5 В и –2,5 В имеют низкий импеданс, входное сопротивление вывода Ref ИУ не оказывает никакого влияния на значения опорных напряжений. Температурная нестабильность стабилитрона также не оказывает никакого влияния на  $V_{ref}$ . Это связано с тем, что изменение напряжения стабилизации стабилитрона в ту или иную сторону приводит к соответствующему изменению выходного напряжения инвертора на ОУ3, т.е. напряжения –2,5 В (зеркального напряжению +2,5 В), и выходное напряжение, снятое с делителя, настраиваемого переменным резистором 100 Ом, остаётся прежним. Кроме того, приме-

нение стабилитрона вместо источника опорного напряжения, используемого в аналогичной схеме в [1], существенно снижает выходной шум усилителя (см. далее).

Диапазон изменения  $V_{ref}$  составляет  $\pm 40$  мВ, что в несколько раз больше напряжения сдвига (или постоянной составляющей) мощного ОУ. Сигнал подаётся на инвертирующий вход, а неинвертирующий вход ИУ заземлён. К обоим входам RG ИУ подключён резистор Rg номиналом 51 кОм. В результате такого включения ИУ AD8295 коэффициент его усиления  $K_u = -(1 + 49,4 \text{ К/}R_g) = -1,969$ . Другими словами, ИУ инвертирует входное напряжение  $V_{in}$  и усиливает его в 1,969 раз (т.е. примерно в два раза). Таким образом, выходное напряжение ИУ  $V_{o-} = -1,969 (V_{in}) \approx -2 \text{ В}$ .

Для получения напряжения, инверсного  $V_{o-}$ , это напряжение подаётся на вход ОУ2 (DA1.3), оснащённого двумя встроенными прецизионными резисторами по 20 кОм каждый и включённого в инвертирующем режиме. В результате такого включения выходное напряжение ОУ  $V_{o+} = -(V_{o-})$ . Подобную схему включения рекомендует производитель AD8295 для получения прецизионного инвертора, имеющего коэффициент усиления строго равный –1.

Два мощных ОУ (МОУ1 и МОУ2) идентично включены в инвертирующем режиме с коэффициентом усиления, равным отношению резистора обратной связи (20 кОм) к входному резистору (2 кОм), т.е.  $K_u = -10$ . Резистор 1,8 кОм, подключённый к неинвертирующим входам обоих ОУ, компенсирует ток смещения и значительно снижает напряжение сдвига каждого ОУ. Сумма токов через резисторы 2 и 20 кОм при потенциалах инвертирующего и неинвертирующего входов ОУ, практически равных потенциалу «земли», должна равняться току через резистор 1,8 кОм (20 кОм || 2 кОм).

Напряжения  $V_{o-}$  и  $V_{o+}$  подаются на входы двух мощных ОУ, МОУ1 и МОУ2, с выходов которых снимаются напряжения  $V_{out+}$  и  $V_{out-}$ . Таким образом, при подключении акустической системы (АС) к выходам обоих ОУ реализуется схема мостового включения, показанная на рисунке 1.

Для компенсации напряжения сдвига от тока смещения неинвертирующий вход ОУ2 заземлён через резистор 10 кОм, равный параллельно соединению двух резисторов по

20 кОм. На вход Ref ИУ подаётся прецизионное «подстроечное» напряжение  $V_{ref}$ . Заземлив вход  $V_{in}$  ИУ и регулируя напряжение  $V_{ref}$ , можно с точностью до десятых долей милливольт добиться нулевого напряжения между выходами двух ОУ, сигналы с которых подаются на АС. Таким способом исключается постоянная составляющая из выходного напряжения, и разделительные конденсаторы во всём тракте усиления входного сигнала не требуются.

Последнее, о чём следует упомянуть – просто огромный входной импеданс ИУ, который, согласно спецификации AD8295, составляет 100 ГОм || 2 пФ. Это позволяет подключать регулятор громкости, максимальное выходное сопротивление которого составляет до нескольких сотен кОм, непосредственно к входу ИУ.

### Принципиальная схема двухканального согласующего устройства на базе AD8295

Принимая во внимание изложенные принципы мостового включения ОУ, рассмотрим схему двухканального предварительного усилителя (см. рис. 5), согласующего сигналы с выхода регулятора громкости с выходами мощных ОУ (например, LM3886).

Входные напряжения  $V_{inA}$  и  $V_{inB}$ , полученные с регулятора громкости, с максимальным действующим значением  $\approx 0,3$  В, подаются с двух двухконтактных цанговых штыревых разъемов PSLM-2 (X2 и X5) на два соответствующих инвертирующих входа ИУ микросхем AD8295 (DA1 и DA2). Конденсаторы CA1 и CB1 шунтируют входы по ВЧ. Резисторы RgA и RgB определяют коэффициент усиления ИУ. Этот коэффициент, как было уже показано, составляет около 2. В этом случае действующие значения выходных напряжений каждого ИУ ( $V_{outA-}$  и  $V_{outB-}$ ) равны удвоенному входному напряжению и составляют  $\approx 0,6$  В, с амплитудным значением в  $\sqrt{2}$  раз большим и приблизительно равным 0,8 В. С делителей RA1, RA2, RA3 и RB1, RB2, RB3 опорные напряжения  $V_{refA}$  и  $V_{refB}$  подаются на входы Ref DA1 и DA2. Резисторы RA1 и RB1 (2,3 кОм) составлены из двух параллельно соединённых резисторов номиналом 2,4 и 51 кОм. Для получения опорного напряжения +2,5 В используется стабилитрон BZX384C2V4 (VD1) с токоограничительным резистором RA4 и повто-

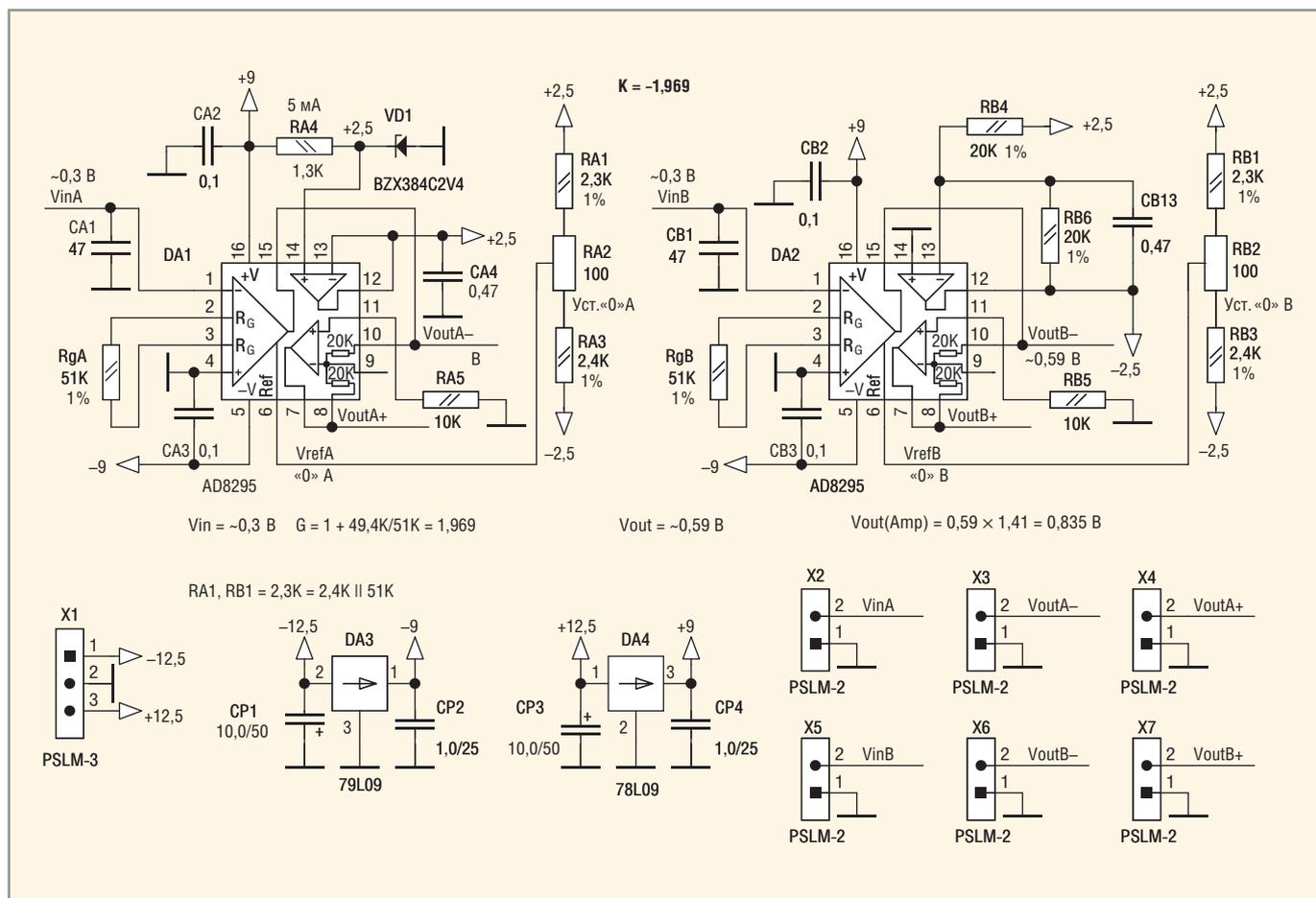


Рис. 5. Принципиальная схема предварительного усилителя на базе двух ИУ AD8295

ритель на ОУ, входящий в состав DA1. Для получения опорного напряжения  $-2,5 \text{ В}$  используется инвертор на ОУ, входящий в состав DA2, и два одинаковых резистора по  $20 \text{ кОм}$  каждый (RB4, RB6). Инвертор оснащён НЧ-фильтром (конденсатор CB13 в обратной связи). Для получения сигналов VoutA+ и VoutB+, инверсных сигналов, соответственно, VoutA- и VoutB-, используются инверторы на ОУ со встроенными прецизионными резисторами по  $20 \text{ кОм}$  каждый. Эти инверторы реализованы в DA1 и DA2.

В качестве источника питания устройства с напряжениями  $\pm 9 \text{ В}$  используются два стабилизатора 79L09 и 78L09 (DA3, DA4) с конденсаторами CP1, CP2 и CP3, CP4.

Два входных напряжения питания  $\pm 12,5 \text{ В}$  подаются на стабилизаторы с трёхконтактного цангового штыревого разъёма PSLM-3 (X1).

Выходные сигналы VoutA-, VoutA+ и VoutB-, VoutB+, предназначенные для подачи на входы двух мостовых усилителей на мощных ОУ (для канала А и В, соответственно), выведены на четыре двухконтактных цанговых штыревых разъёма PSLM-2: X3, X4, X6 и X7.

Как видно из рисунка 5, схема устройства достаточно проста. Разводка его печатной платы, имеющей размеры всего  $30 \times 25 \text{ мм}$ , не составляет большого труда, о чём будет подробно рассказано далее.

## ЛИТЕРАТУРА

- Кузьминов А. Применение инструментального усилителя в усилителе низкой частоты. Современная электроника. 2016. №6.



# ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ:

ISO 9001 - 2009

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ И ПРОДУКЦИИ

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

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

ВСЯ ПРОДУКЦИЯ СЕРТИФИЦИРОВАНА

# Автономное применение интеллектуальных дисплейных модулей от 4D Systems

## Часть 1

Павел Редькин (г. Ульяновск)

В статье рассказано о применении дисплейных модулей 4D Systems в качестве устройств, работающих автономно, т.е. без внешнего управления. Приведены сведения об архитектуре и характеристиках графических процессоров дисплейных модулей, описан процесс разработки и отладки встроенных программ для них, а также используемые для этого инструментальные средства, встроенные функции и графический язык программирования. Описание дано на примере дисплейного модуля  $\mu$ OLED-128-G2.

### Платформы для разработки приложений

Наряду с возможностью работы под управлением внешнего микроконтроллера (МК), интеллектуальные дисплейные модули от 4D Systems поддерживают работу в автономном режиме под управлением встроенной программы, использующей внутренние аппаратные ресурсы модуля.

Прежде чем начинать разработку на базе дисплейных модулей автономно работающих устройств, необходимо иметь детальное представление о ресурсах и возможностях аппаратных платформ – графических процессоров семейства 4D-Labs: GOLDELOX, PICASO и DIABLO16, а также о степени доступ-

ности этих ресурсов для встроенной управляющей программы.

Описание актуальной на настоящий момент версии процессора GOLDELOX – GOLDELOX-GFX2 содержится в [1], а его структурная схема приведена на рисунке 1. Процессор имеет вычислительное ядро EVE (Extensible Virtual Engine – расширяемый виртуальный механизм), представляющее собой виртуальный процессор. Шина доступа к встроенному дисплею модуля у этого процессора – 8-разрядная. Как можно видеть из структурной схемы, состав периферии довольно скромный. Единственный интерфейс SPI в приложении может быть занят подключённой к модулю картой памяти. Подключе-

ние к шине SPI каких-либо дополнительных внешних устройств, например, микросхем флэш-памяти, возможно не во всех модулях в силу особенностей их конструкции. Так в  $\mu$ OLED-128-G2 линии SPI выведены только в слот карты памяти, но не на сигнальный разъём модуля. Кроме SPI для программного использования доступны линии ввода-вывода GPIO, которых у процессора GOLDELOX всего две: IO1, IO2. Линия IO1 может конфигурироваться как цифровой вход или выход, аналоговый вход 8/10-разрядного АЦП, цифровой выход ШИМ для генерации звука, а также как линия обмена по протоколу Dallas 1-Wire. В режиме аналогового входа линия может поддерживать распознавание пяти фиксированных аналоговых уровней для опроса до пяти внешних кнопок, подключённых по соответствующей схеме (функция Joystick). Линия IO2 обеспечивает все перечисленные функции IO1, кроме аналоговых. Максимальная нагрузочная способность линий GPIO по току составляет 4 мА. Помимо GPIO для программы доступен последовательный порт COM0 с интерфейсом UART. Из системных регистров, в числе прочих, для программы доступны один 32-разрядный системный таймер и четыре 16-разрядных пользовательских. Все таймеры жёстко тактируются внутренним синхросигналом с периодом 1 мс.

Встроенная флэш-память программ процессора GOLDELOX имеет размер всего 10 Кбайт, пользовательское ОЗУ (SRAM) – 510 байт, что налагает соответствующие ограничения на размер исполняемого кода. Ресурс стирания-записи встроенной флэш-памяти невелик – всего 1000 циклов. Типичный ток потребления процессора – 12 мА, максимальный – 26 мА, частота встроенного генератора – 12 МГц, тактовая частота ядра – 48 МГц.

Механизм прерываний для встроенной программы процессора GOLDELOX производителем не представлен.

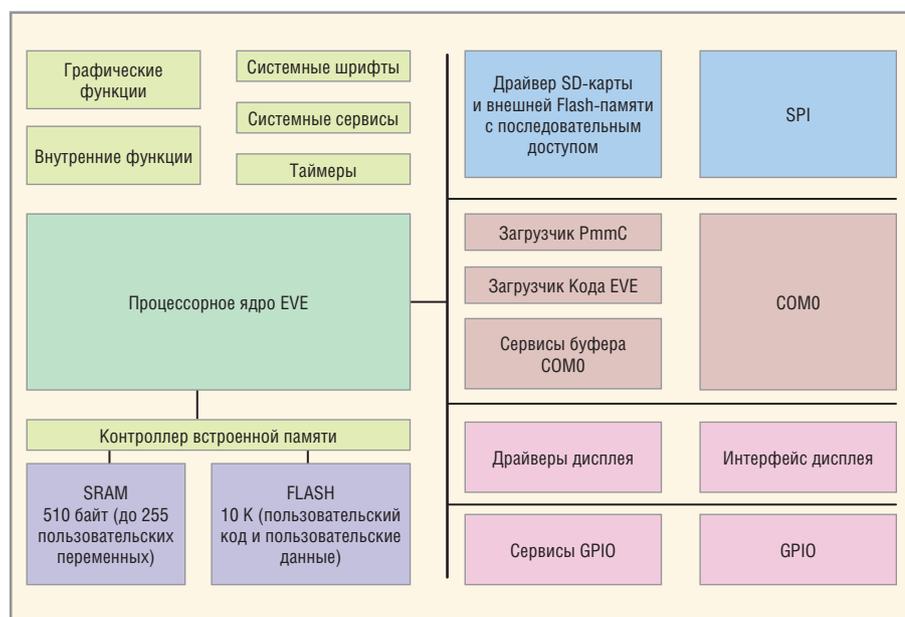


Рис. 1. Структурная схема процессора GOLDELOX

Подробное описание процессора PICASO приведено в [2], а его структурная схема показана на рисунке 2. Как можно видеть из схемы, этот процессор существенно мощнее, чем GOLDELOX, и ресурсов у него гораздо больше. Он имеет 16-разрядную шину доступа к дисплею, аппаратно поддерживает файловый доступ в системе FAT16, помимо контроллера дисплея содержит контроллер резистивной сенсорной панели, поддерживает 16-разрядный аудиовыход ШИМ. Портов COM у процессора два, линий GPIO – 13, также имеется интерфейс I<sup>2</sup>C. Встроенная флэш-память программ имеет размер 14 Кбайт, пользовательское ОЗУ (SRAM) – 14 Кбайт. Процессор поддерживает загрузку и исполнение кода как во флэш-памяти, так и в SRAM. Ресурс стирания-записи встроенной флэш-памяти составляет 10 000 циклов. Типичный ток потребления процессора – 50 мА, максимальный – 90 мА, частота встроенного генератора – 12 МГц, тактовая частота ядра – 48 МГц.

Описание процессора DIABLO16 содержится в [3], а его структурная схема приведена на рисунке 3. Как можно видеть из схемы, этот процессор ещё мощнее предыдущих и обладает заметно большими ресурсами. Он имеет 16-разрядную шину доступа к дисплею, аппаратно поддерживает файловый доступ в системе FAT16, помимо контроллера дисплея содержит контроллер резистивной сенсорной панели, поддерживает 16-разрядный выход аудио ШИМ, вход квадратурного энкодера и аппаратный счёт внешних импульсов. Портов COM у него четыре, линий GPIO – 16, портов I<sup>2</sup>C – три, портов SPI – три. Модуль АЦП процессора – 12-разрядный. Встроенная флэш-память программ состоит из шести банков по 32 750 байт, пользовательское ОЗУ (SRAM) имеет размер 32 Кбайт, системное ОЗУ – 12 Кбайт. Процессор поддерживает загрузку и исполнение кода как во флэш-памяти, так и в SRAM. Ресурс стирания-записи встроенной флэш-памяти – 10 000 циклов. Типичный ток потребления процессора – 70 мА, частота встроенного генератора – 12 МГц, тактовая частота ядра – 70 МГц.

### ВНУТРЕННИЕ ФУНКЦИИ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

Исходные тексты встроенных управляющих программ для процес-

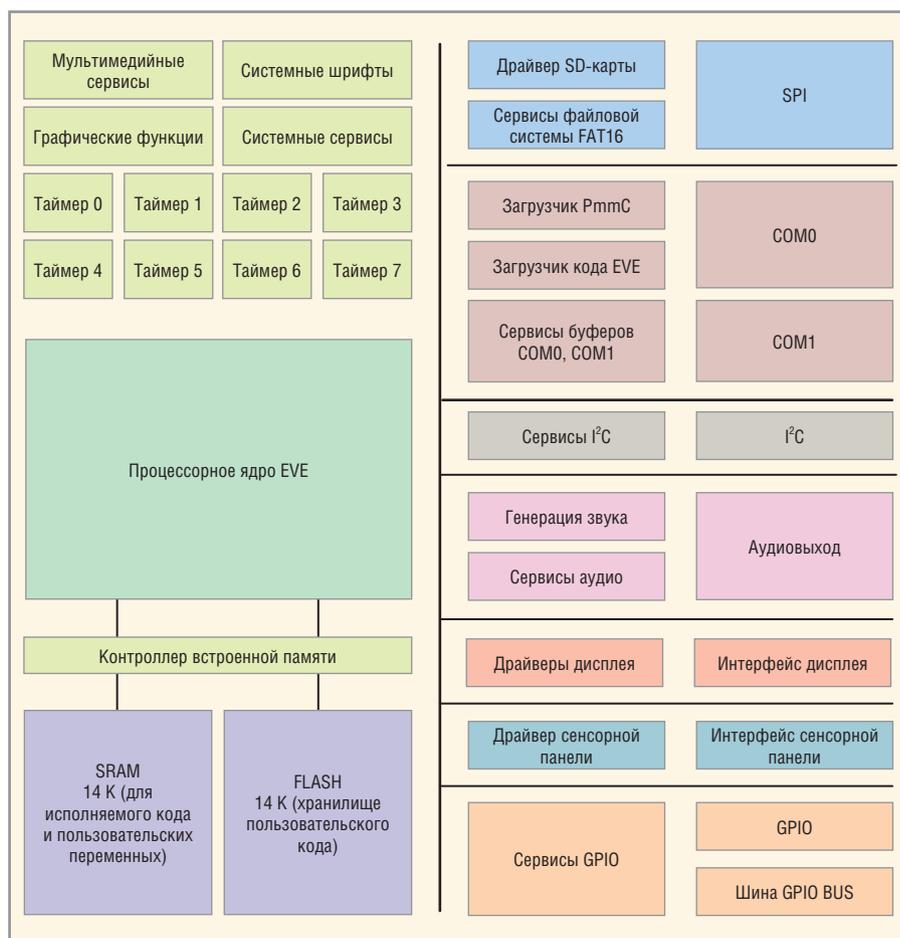


Рис. 2. Структурная схема процессора PICASO

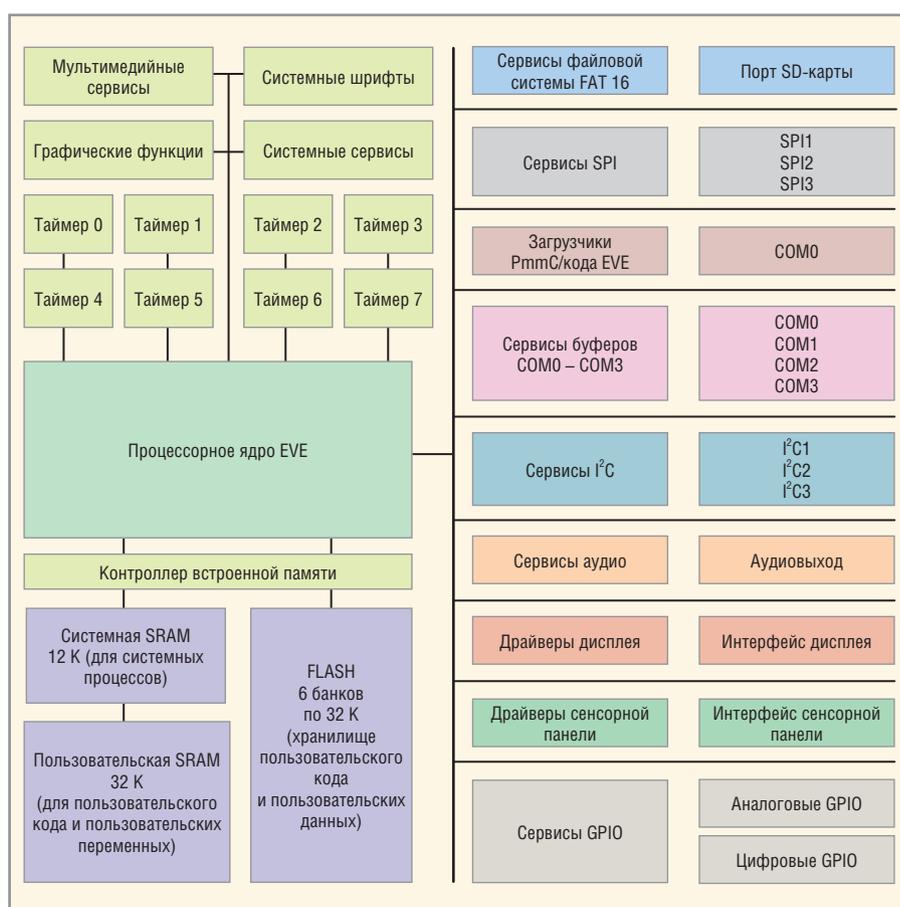


Рис. 3. Структурная схема процессора DIABLO16

соров семейства 4D-Labs пишутся на оригинальном графическом языке 4DGL (4D Graphics Language), редактор которого входит в состав программного пакета Workshop4 IDE. Пакет можно загрузить по ссылке [4]. Помимо программного инструментального средства Workshop4 IDE для разработки-отладки управляющих программ процессоров модулей необходимо аппаратное инструментальное средство – USB-адаптер  $\mu$ USB-PA5. В состав Workshop 4 IDE кроме редактора входят компилятор, компоновщик и загрузчик, которые служат для разработки и записи в память графических процессоров откомпилированных программ. Структура и подробное описание возможностей языка 4DGL содержится в [5]. Важно отметить, что при математических вычислениях 4DGL может оперировать только целочисленными 16-разрядными знаковыми переменными и константами, лежащими в диапазоне значений от  $-32\,768$  до  $+32\,767$ . Данные в 4DGL могут быть как 8-, так и 16-разрядными. Массивы данных могут быть только одномерными.

Кроме базовых элементов и конструкций (идентификаторов, операторов выражений, циклов, условий, переходов и пр.) языка 4DGL процессоры семейства 4D-Labs поддерживают так называемые внутренние функции. Подробное описание всех 128 внутренних функций процессора GOLDELOX содержится в [6]. Часть из них может быть вызвана одноимёнными командами режима Serial [7]. Процессор PICASO поддерживает 243 внутренние функции, а DIABLO16 – 450.

Рассмотрим систему внутренних функций GOLDELOX подробнее, насколько это возможно в рамках журнальной статьи. Группа функций GPIO управляет конфигурированием, записью, чтением линий GPIO, в том числе при обмене по протоколу Dallas 1-Wire. К этой же группе относится функция Joystick, вызываемая одноимённой командой режима Serial. Функции GPIO перечислены в таблице 1, найти которую можно в дополнительных материалах к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru). Эта и последующие таблицы содержат только имена и краткие характеристики функций без подробного описания параметров и особенностей применения, за которыми рекомендуется обратиться к [6].

**Группа функций доступа к памяти** обеспечивает доступ для записи и чтения к массиву управляющих системных регистров ядра графического процессора EVE, а также к ячейкам встроенного ОЗУ. Эти функции могут работать с байтами, 16-разрядными словами и отдельными битами. Функции доступа к памяти перечислены в таблице 2 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)).

**Группа функций работы с пользовательским стекком.** В ходе выполнения встроенной программы, например, при вызовах функций реализации растровых изображений, может возникнуть необходимость в управлении пользовательским стекком: сохранение и восстановление контекста, мониторинг состояния стека и т.д. Стек в архитектуре EVE является программным и имеет фиксированное расположение в начале встроенного ОЗУ. Если ни одна из функций стека не используется, то эта область ОЗУ может быть задействована для других целей. Если же стек используется, то он должен быть вручную сконфигурирован, как первый массив в программе.

**Группа математических функций** реализует математические операции с целочисленными аргументами. Математические функции перечислены в таблице 3 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)).

**Группа текстовых и строковых функций** управляет курсором дисплея при выводе текста, выводит строки и отдельные символы, задаёт цвет, размеры и атрибуты текста (жирный, курсив, подчёркивание, инверсия). При этом по умолчанию доступен только один текстовый шрифт. Основная часть этих функций перечислена в таблице 4 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)). Текстовая функция `txt_Set(...)` в качестве аргументов использует структуру, состоящую из константы, сопоставляемой с некоторой «дочерней» функцией, и аргумента этой «дочерней» функции. Текстовые «дочерние» функции могут вызываться командами режима Serial.

**Группа графических функций** управляет выводом на дисплей простых геометрических фигур (прямых и ломаных линий, окружностей, треугольников, прямоугольников и т.п.), задаёт их расположение, раз-

меры, цвет и режимы отображения, например, заполнение цветом. Сюда же входит такая важная функция, как очистка экрана `gfx_Cls()`. Основная часть этих функций перечислена в таблице 5 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)). Графическая функция `gfx_Set(...)` в качестве аргументов использует структуру, состоящую из константы, сопоставляемой с некоторой «дочерней» функцией, и аргумента этой «дочерней» функции. Графические «дочерние» функции могут вызываться командами режима Serial.

**Группа функций ввода-вывода** дисплея используется для прямого доступа программы к дисплею и отображения его пикселей. Функции этой группы расширяют возможности пользовательского кода в плане доступа к аппаратным средствам дисплея.

**Группа функций для работы с носителями** управляет взаимодействием модуля с подключённой к нему картой памяти, её начальной инициализацией, чтением-записью данных, выводом с неё на дисплей изображений, видеок кадров, воспроизведением видео. Функции этой группы перечислены в таблице 6 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)). Функции для работы с носителями могут вызываться командами режима Serial.

**Группа функций поддержки флэш-памяти** управляет взаимодействием модуля с подключённой к нему через порт SPI микросхемой флэш-памяти (NAND). Процессор GOLDELOX-GFX2 поддерживает работу только с одним семейством микросхем флэш-памяти – M25Pxx объёмом от 512 Кбит до 32 Мбит. Для корректной работы функций необходима предварительная инициализация микросхемы памяти с помощью функции `spi_Init(...)`.

**Группа функций поддержки SPI.** Эти функции могут использоваться для поддержки обмена данными через порт SPI между модулем и любым подключённым к нему устройством общего назначения, кроме карт памяти и микросхем флэш-памяти. Для последних используются отдельные функции, упомянутые ранее.

**Группа функций поддержки UART.** Указанные функции могут использоваться для поддержки обмена через UART между модулем и внешними устройствами. По умолчанию

формат обмена – N-8-1, скорость – 115 200 бит/с. Логика UART обеспечивает расширенные аппаратные возможности при приёме данных от внешних устройств, что позволяет минимизировать потери. Очевидно, таким способом производитель пытается компенсировать отсутствие в системе поддержки прерываний. Функции поддержки UART перечислены в таблице 7 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)).

Остановимся подробнее на функции `com_Init(...)`, с помощью которой может быть задано несколько режимов функционирования UART.

В режиме без спецификатора (спецификатор равен 0x00) для порта UART функционирует простой кольцевой буфер – круговая очередь. Принимаемые символы автоматически помещаются в буфер – в «голову» этой очереди. Символы могут быть удалены из буфера (из «хвоста» очереди) путём использования функции `serin()`. Если «хвост» совпадает с «головой», то есть в очереди нет ни одного символа, функция `serin()` возвратит значение (-1). Для определения текущего количества

символов между «хвостом» и «головой» может быть использована функция `com_Count()`. Если буфер переполняется поступающими извне символами, то есть «голова» очереди догоняет её «хвост», то это вызывает автоматическую установку внутреннего флага `COM_FULL`, который может быть прочитан программой с помощью функции `com_Full()`. Все символы, поступающие извне после установки флага `COM_FULL`, будут отбрасываться логикой UART, однако символы, уже находящиеся в буфере, останутся в сохранности и могут быть в любой момент прочитаны. Указанный механизм предоставляет пользователю удобный способ приёма пакетов данных фиксированного размера. После установки флага `COM_FULL` содержимое буфера может быть прочитано как массив без использования функции `serin()`. Для возобновления работы UART необходимо заново инициализировать буфер функцией `com_Init(...)` или сбросить его функцией `com_Reset()`. Вызов функции `com_Init(...)` или `com_Reset()` приведёт к автоматическому сбросу флага `COM_FULL`.

Если при заполнении буфера внешними данными произойдут какие-либо низкоуровневые ошибки, автоматически установится флаг `COM_ERROR`, который может быть прочитан с помощью функции `com_Error()`.

Если в вызванной функции `com_Init(...)` задан некоторый символ спецификатора (спецификатор не равен 0x00), логика UART будет игнорировать все поступающие извне символы, пока не поступит символ, совпадающий со спецификатором. В этот момент будет инициирован старт записи в буфер последующих поступающих данных. При этом сам символ спецификатора в буфер не попадёт. После старта записи в буфер логика UART будет работать аналогично предыдущему режиму. Такой механизм позволяет реализовать удобный способ приёма пакетов данных фиксированного размера с заданным заголовком.

Рассмотрим режим с переменной длиной пакета. Если в функции `com_Init(...)` параметр `bufsize` задан равным нулю, то первый принятый байт (или второй байт, если используется спецификатор) будет задавать количество



# ICAPE GROUP

## Компания ООО «Айкейп Рус»

### ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ ИЗ КИТАЯ

- **27** заводов по производству печатных плат всех степеней сложности
- **IQTS** Сервис быстрого изготовления печатных плат (от 1 дня)
- Двойной контроль качества в собственной лаборатории
- **12 миллионов** плат производятся нами ежемесячно



### ЗАКАЗНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

- **50** заводов по производству технических деталей
- Быстрая доставка до двери и техническая поддержка

**LED/LCD дисплей**



**Моточные изделия**



**Кабельная сборка**



**Разъемы**



**Корпуса**



**и многое другое....**

Реклама

**[www.icape-group.com/ru](http://www.icape-group.com/ru)**

Tel: +7 495 668 11 33      order@icaperussia.com




символов, которое должен принять UART, прежде чем автоматически установится флаг COM\_FULL. Указанный механизм позволяет внешнему устройству отправлять пакеты переменной длины, содержащие информацию об их длине в самом теле пакета. Количество байт, которое будет содержаться в пакете, может быть прочитано путём вызова функции `com_PacketSize()`, возвращающей размер пакета. Заметим, что корректный результат эта функция возвратит только после начала приёма пакета. Проверить, начался ли приём пакета, можно с помощью функции `com_Count()`, которая при начавшемся приёме возвратит ненулевой результат. При заполнении поступающими данными приёмного буфера в каждом его элементе (16-разрядном слове) первым заполняется младший байт.

**Группа функций поддержки звука и воспроизведения** приведена в таблице 8 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)). Функция `tune_Play(...)` позволяет использовать возможности языка текстового представления тональных сигналов вызова (Ring Tone Text Transfer Language, RTTTL) [8, 9], разработанного фирмой Nokia для представления мелодий-рингтонов сотового телефона. В Интернете доступно множество мелодий в формате RTTTL, большинство из которых после незначительной модификации могут быть воспроизведены графическим модулем с помощью функции `tune_Play(...)`. Кроме того, пользователь может самостоятельно синтезировать широкий спектр звуковых эффектов, используя возможности формата RTTTL, реализованные в функциях 4DGL.

Формат RTTTL представляет собой текстовую строку, описывающую звучание и разделённую на три части: имя (название мелодии), параметры по умолчанию и последовательность нот. Три параметра по умолчанию (тактовая длительность, исходная октава, музыкальный ритм) задаются через запятую в виде выражений «параметр=значение». Последовательность нот записывается с помощью соответствующих условных обозначений. Например, начало Пятой симфонии Бетховена выглядит в формате RTTTL так: `5thSymphony: d=16, o=S, b=100: g, g, g, 4d#, 4p, f, f, f, 4d, 4p, g, g, g, d#, g#, g#, g#, g, d#6, d#6, d#6, 4c6, 8p, g,`

`g, g, d, g#, g#, g#, g, f6, f6, f6, 4d6, 8p, g6, g6, f6, 4d#6.`

Реализация формата RTTTL в функциях 4DGL имеет следующие особенности. Параметр значения музыкального ритма `b=xxx` в языке 4DGL изменяется не в единицах «удар в минуту» (bpm), как в формате RTTTL, а в единицах «мс на интервал 1/64». Например, значение 120 bpm соответствует двум ударам в секунду или 128 интервалам 1/64 в секунду, что составляет 7,8125 мс на интервал 1/64. И наоборот, заданное по умолчанию в языке 4DGL значение ритма `b=16` (мс на интервал 1/64) составляет 62,5 bpm.

Параметр «последовательность нот», передаваемый в функцию `tune_Play(...)`, должен быть строкой данных. Если строка передаётся в функцию как указатель на блок данных #DATA, то в теле этого блока она должна заканчиваться нулём (0x00). Если строка передаётся в функцию непосредственно, то ноль автоматически добавляется к ней компилятором.

В 4DGL-реализации строки формата RTTTL нет раздела «имя». Также 4DGL-реализация не требует в строке пробелов или двоеточий.

Параметр по умолчанию «d» (тактовая длительность) в 4DGL может иметь одно из значений 1, 2, 4, 8, 16, 32 или 64 (1 – целая нота, 64 – 1/64 ноты).

Параметр по умолчанию «o» (октава) в 4DGL может иметь значение 4, 5, 6 или 7.

Если перечисленные параметры в записи рингтона не заданы явно, то по умолчанию принимается: `d=4, o=6, b=16` (62,5 bpm).

Помимо группы стандартных параметров RTTTL в языке 4DGL поддерживаются следующие дополнительные параметры:

- `g` – заданная точка повторения и счёта (минимальное значение – 2, максимальное – 255, значение по умолчанию – постоянно);
- `p` – заданное значение портаменто (минимальное значение – 1, максимальное – 14, значение по умолчанию – 4);
- `a` – заданное значение шага арпеджирования (минимальное значение – 1, максимальное – 16, значение по умолчанию – 1).

Значения дополнительных параметров задаются в языке 4DGL в таком же формате, как и значения основных, а также с помощью соответствующих дополнительных команд:

- `R` – выполнить количество повторений, заданное значением параметра `r` (если значение `r` не было задано явно, строка будет повторяться постоянно);
- `{` – включить портаменто;
- `}` – выключить портаменто (по умолчанию портаменто включено);
- `+` – увеличить шаг арпеджирования;
- `-` – уменьшить шаг арпеджирования.

**Группа функций общего назначения** реализует возможности установки задержек и поиска. Функции общего назначения перечислены в таблице 9 (см. дополнительные материалы к статье на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)).

В заключение заметим, что на основе приведённых в этой части статьи сведений об архитектуре и характеристиках графических процессоров модулей 4D Systems и описания внутренних функций языка 4DGL во второй части будет описан процесс разработки автономно работающего устройства на примере дисплейного модуля `µOLED-128-G2` с процессором `GOLDELOX`.

*Автор выражает благодарность за помощь в написании этой статьи Сергею Долгушину (Distribution Department Electronic Components EFO Ltd).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. 4D SYSTEMS GOLDELOX Processor Embedded Graphics Processor. [www.4dsystems.com.au/productpages/GOLDELOX/downloads/GOLDELOX\\_datasheet\\_R\\_1\\_0.pdf](http://www.4dsystems.com.au/productpages/GOLDELOX/downloads/GOLDELOX_datasheet_R_1_0.pdf).
2. 4D SYSTEMS PICASO Processor Embedded Graphics Processor. [www.4dsystems.com.au/productpages/PICASO/downloads/PICASO\\_datasheet\\_R\\_1\\_2.pdf](http://www.4dsystems.com.au/productpages/PICASO/downloads/PICASO_datasheet_R_1_2.pdf).
3. 4D SYSTEMS DIABLO16 Processor Embedded Graphics Processor. [www.4dsystems.com.au/productpages/DIABLO16/downloads/DIABLO16\\_datasheet\\_R\\_1\\_8.pdf](http://www.4dsystems.com.au/productpages/DIABLO16/downloads/DIABLO16_datasheet_R_1_8.pdf).
4. [www.4dsystems.com.au/product/4D\\_Workshop\\_4\\_IDE](http://www.4dsystems.com.au/product/4D_Workshop_4_IDE).
5. 4DGL Programmers Reference Manual and Language Specifications<sup>®</sup>. 2009. 4D Labs.
6. 4D SYSTEMSGOLDELOX 4DGL INTERNAL FUNCTIONS.
7. 4D SYSTEMSGOLDELOXSERIAL ENVIRONMENT COMMAND SET. PART OF THE WORKSHOP 4 IDE.
8. [www.activexperts.com/xmstoolkit/sms/rtttl](http://www.activexperts.com/xmstoolkit/sms/rtttl).
9. [www.en.wikipedia.org/wiki/Ring\\_Tone\\_Transfer\\_Language](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Ring_Tone_Transfer_Language).



# 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 ESE

- От 5 до 80 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 каркас
- Потребляемая мощность в режиме холостого хода < 0,3 Вт



## Загрузите

интерактивное руководство по выбору преобразователей AC/DC и DC/DC

[www.xppower.com/literature\\_downloads](http://www.xppower.com/literature_downloads)



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



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 • www.prosoft.ru

### В ДВФУ ведут суперкомпьютерные расчёты для создания магнитной памяти будущего

Молодые учёные Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета (ШЕН ДВФУ) изучают сложные магнитные системы с помощью суперкомпьютера. Научный проект аспиранта ШЕН Петра Андрющенко поддержан Министерством образования и науки и грантом Президента РФ, а его результаты, уверен исследователь, будут способствовать развитию технологий будущего.

Как рассказал Пётр Андрющенко, благодаря своим свойствам, магнитные вещества широко используются в электронике. Углублённое изучение их моделей с помощью суперкомпьютерных расчётов позволит инженерам создавать системы для разработки новых видов вычислительных и запоминающих устройств. Одним из них может стать память, основанная на магнитных элементах, которая обладает рядом преимуществ, по сравнению с современными аналогами: более высокой скоростью доступа, повышенной устойчивостью к внешним факторам и другими качествами.

Важнейший инструмент работы физиков-теоретиков – суперкомпьютер. Машина, которая установлена в ДВФУ, обладает мощностью около двух терафлопс и позволяет выполнять сложнейшие вычисления. Исследователи уже создали два десятка суперкомпьютерных программ для изучения свойств взаимодействующих магнитных частиц, фазовых переходов веществ и необычных явлений в таких системах, как «спиновое стекло» и «спиновый лёд». Результаты наработок были опубликованы в международных журналах, в том числе авторитетном издании *Physics Letters*, готовится к выпуску монография.

Научным руководителем проекта является профессор кафедры компьютерных систем ШЕН Константин Нефедев. В исследованиях также участвуют старший преподаватель и ассистент кафедры компьютерных систем Виталий Капитан и Юрий Шевченко, аспиранты ШЕН Константин Солдатов, Александр Макаров, Ксения Шаповалова, Алексей Перетятыко, студенты и магистранты ДВФУ. В коллективе молодых учёных – четыре лауреата международной программы Минобрнауки России и немецкой службы академических обменов DAAD, пять обладателей стипендий Президента и Правительства РФ.

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

### Разработка алгоритмов для Industry 4.0 требует навыков, которых нет

Industry 4.0 разрабатывается уже более 5 лет и, хотя многие компании начали несколько перспективных проектов для четвертой промышленной революции, остаются ключевые проблемы, делающие алгоритмы центром этих проектов. Gartner прогнозирует, что к 2020 г. по меньшей мере 30% проектов Industry 4.0 будут генерировать свои алгоритмы из рыночных алгоритмов – значительный рост по сравнению с менее 5% в 2016 г.

По словам управляющего вице-президента Gartner Томаса Оестрайха, разработка новых алгоритмов требует навыков и компетентности, которых у большинства компаний пока нет. Чтобы ускорить время выхода на рынок и процесс разработки, некоторые организации используют поставщиков услуг и сочетают это с использованием рыночных алгоритмов.

Поставщики аналитических услуг начали создавать рынки таких программных компонентов, как аналитические алгоритмы, чтобы обеспечить большую гибкость и широкий выбор для конечных пользователей. Эти рынки принесут выгоду от экономики приложений для разработки ПО. Они резко сокращают затраты на распространение ПО и повышают доступ к тысячам (если не миллионам) предлагаемых алгоритмов.

На рынке предлагаются алгоритмы многократного пользования, которые помогают организациям ускорять свои процессы разработки и справляться с перерождением цифрового бизнеса.

Первые пользователи Industry 4.0 также модернизируют свои решения ERP. Системы ERP подключаются к инфраструктуре IoT, которая состоит из датчиков и исполнительных механизмов, промежуточного ПО для сбора и хранения данных, а также приложений и аналитики для принятия решений и пусковых действий.

ИТ-директорам необходимо развивать цифровые возможности бизнеса в целях роста. Сигналы, поступающие от датчиков внутри продуктов или из внешних источников, можно использовать для предоставления дополнительных услуг клиентам.

К 2020 г. 50% компаний, обновивших основу своих ERP-систем и перенёсших свою инфраструктуру IoT на стандартизованную платформу, увеличат взаимодействие с клиентами более чем на 20%.

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

### В 2017 г. расходы на облачные услуги достигнут \$122,5 млрд

Согласно обновлённому полугодовому прогнозу IDC, в 2017 г. мировые расходы на общедоступные облачные услуги и облачную инфраструктуру достигнут \$122,5 млрд, увеличившись на 24,4% по сравнению с прошлым годом. На протяжении прогнозного периода 2015–2020 гг. общие расходы на общедоступное облако продемонстрируют среднегодовой темп роста (в сложных процентах, CAGR) 21,5% – почти в 7 раз выше ИТ-расходов в целом. К 2020 г. IDC ожидает, что расходы на общедоступное облако достигнут \$203,4 млрд во всём мире.

ПО-как-услуга (SaaS) будет оставаться доминирующей категорией, составив почти две трети всех расходов на общедоступное облако в 2017 г. и примерно 60% в 2020 г. В расходах на SaaS (включающих приложения и системное ПО инфраструктуры, SIS), будут, в свою очередь, доминировать закупки прикладного ПО, составив более половины всех расходов на общедоступное облако на протяжении прогнозного периода. Однако расходы на инфраструктуру-как-услугу (IaaS) и на платформы-как-услугу (PaaS) будут расти гораздо быстрее, чем SaaS, с пятилетним темпом роста (CAGR) 30,1% и 32,2%, соответственно.

Самый быстрый рост расходов на общедоступное облако на протяжении пятилетнего прогнозного периода будут демонстрировать профессиональные услуги (CAGR 23,9%), ритейл (22,8%), СМИ (22,5%) и телекоммуникационные услуги (22,1%).

Что касается размеров компаний-заказчиков, то почти половина всех расходов на общедоступные облачные сервисы будет приходиться на очень крупные организации (со штатом более 1 тысячи человек), тогда как компании среднего размера (100–499 человек) составят более 20% на протяжении прогнозного периода. Крупные организации (500–999 человек) продемонстрируют самый быстрый рост расходов с пятилетним CAGR 23,2%.

Что касается картины по регионам, то США будут крупнейшим рынком общедоступных облачных услуг (более 60% всех мировых расходов на протяжении прогнозного периода). Западная Европа и Азиатско-Тихоокеанский регион без Японии (APeJ) будут вторым и третьим по величине расходов: в 2017 г. они достигнут \$24,1 млрд и \$9,5 млрд, соответственно.

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



# XIII МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

## ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

**17-19 мая 2017 г., Москва, ВДНХ,  
павильон 75, «Россия»**

### СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ



### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Консолидация усилий власти, науки и бизнеса в развитии отечественного приборостроения для обеспечения нужд промышленности и оборонного комплекса страны, а также повышение эффективности российской системы измерений, совершенствование нормативной базы метрологии с учетом международных тенденций в целях поддержки инноваций и их продвижения.

### ПРОГРАММА ФОРУМА



#### МЕТРОЛЕХРО-2017

**Метрология и Измерения**  
13-я выставка средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения.



#### CONTROL&DIAGNOSTIC-2017

**Контроль и Диагностика**  
6-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы.



#### RESMETERING-2017

**Учёт энергоресурсов**  
6-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов.



#### LABTEST-2017

**Лабораторное оборудование**  
5-я выставка аналитических приборов и лабораторного оборудования промышленного и научного назначения.



#### PROMAUTOMATIC-2017

**Автоматизация**  
5-я выставка оборудования и программного обеспечения для производственных процессов.



#### WEIGHT SALON 2017

**Весовой салон**  
Выставка весового оборудования.

### Организаторы



### Поддержка



### Международные партнеры



### Ключевые партнеры выставки



### Стратегический партнер



### Генеральный спонсор



### Устроитель и выставочный оператор



### ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129344, Москва, ул. Искры 31, корп. 1, Технопарк ВДНХ  
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)

[www.metrol.exprom.ru](http://www.metrol.exprom.ru)  
E-mail: [metrol@exprom.ru](mailto:metrol@exprom.ru)

# Недорогие решения для тестирования автомобильных DC/DC-преобразователей

Лок Тенг Ки, Keysight Technologies

В статье описано создание недорогих решений для тестирования автомобильных DC/DC-преобразователей. Особое внимание уделено функциональному тестированию и условиям моделирования.

Преобразователем постоянного тока (DC/DC) называется электронный блок (ECU), преобразующий напряжение из одного уровня в другой. Чтобы обеспечить корректную работу таких преобразователей, производители должны подвергнуть их всестороннему функциональному тестированию ещё в процессе производства.

Для функционального тестирования преобразователей постоянного тока обычно требуется моделирование источника входного напряжения и выходной нагрузки, которое позволяет измерять стабильность и качество выходного напряжения, КПД и другие параметры. Уровни мощности могут быть как малыми, так и большими. В автомобильных приложениях обычно используются преобразователи большой мощности (более 200 Вт).

Преобразователи постоянного тока используются в системах запуска-останова двигателей, – эти системы автоматически отключают зажигание двигателя во время остановки и перезапускают двигатель, когда водитель нажимает на педаль газа. Такие системы находят всё более широкое применение в свете современных тенденций создания «зелёной» среды с уменьшенным выбросом оксидов углерода.

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Преобразователи постоянного тока обеспечивают стабильное питающее напряжение 12 В и предотвращают любые прерывания работы информационно-развлекательных и климатиче-

ских систем автомобиля во время запуска двигателя, таким образом создаются комфортные условия для человека в салоне авто.

На рисунке 1 показана упрощённая структурная схема, иллюстрирующая функции типичного преобразователя постоянного тока во время активации. Если напряжение аккумуляторной батареи падает ниже 12 В из-за импульсной нагрузки во время пуска двигателя, в преобразователь передаётся сигнал запуска, в результате чего он повышает напряжение и поддерживает его на уровне около 12 В.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ

Функциональное тестирование преобразователей постоянного тока требует применения эмулятора напряжения аккумулятора, способного генерировать сигналы произвольной формы с высокой мощностью.

Обычно производители сами определяют форму импульса входного напряжения для тестирования (на рисунке 2 показан пример такого импульса). Для создания сигнала произвольной формы с большим пусковым током для моделирования поведения аккумулятора в процессе испытаний нужен мощный, быстроперестраиваемый источник питания постоянного тока.

Для создания нужного сценария функционального тестирования понадобится быстроперестраиваемый источник постоянного напряжения, способный генерировать импульсы от 12 до 6 В с временем спада порядка 1...2 мс, что необходимо для эмуляции переходных процессов в большинстве автомобильных аккумуляторов. Также важно выбрать источник питания таким образом, чтобы минимизировать начальные затраты. Например, приборы Keysight N7951A/N7971A, рассчитанные на мощность 1 и 2 кВт при напряжении 20 В, позволяют работать с маломощными (менее 300 Вт) и мощными (более 300 Вт) преобразователями. Используя эти приборы, появляется возможность обеспечить большую гибкость и удовлетворить различные требования к питанию, не меняя оборудования.

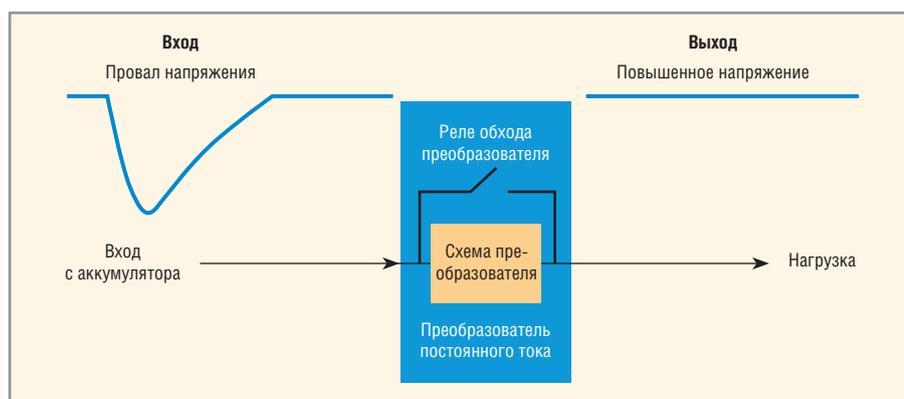


Рис. 1. Структурная схема автомобильного преобразователя постоянного тока



Рис. 2. Пример формы напряжения бортовой сети автомобиля

Кроме эмуляции входного напряжения, для моделирования воздействия на бортовую электронику автомобиля нужны электронные или пассивные нагрузки. Для обеспечения гибкого подключения и отключения нагрузки в процессе функционального тестирования также необходим коммутатор нагрузки. Этот коммутатор должен выдерживать большие токи, свойственные автомобильным приложениям.

Инженерам-испытателям часто приходится разрабатывать специальные коммутаторы для подключения нагрузки, учитывая при этом требования к безопасности и защите в случае выхода преобразователя из строя.

В автомобильной электронике, как правило, используется множество различных технологий, поэтому для удовлетворения требований, предъявляемых разными преобразователями, приходится часто переделывать специализированные коммутаторы, на что уходит и время, и деньги. Поэтому стандартное решение для коммутации нагрузки будет обеспечивать лучшую окупаемость инвестиций. Ведущие производители подобных устройств предлагают стандартные решения для коммутации нагрузки. Эти серийно выпускаемые приборы рассчитаны на долговременную работу при протекании больших токов до 40 А на канал, что является типовым требованием производственного тестирования в автомобильной промышленности.

## ИЗМЕРЕНИЕ КПД

Коэффициент полезного действия (КПД) определяется по формуле:  $KПД = (P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}) \times 100\%$ , где  $P_{\text{вых}}$  и  $P_{\text{вх}}$  – это мощности на выходе и входе преобразователя постоянного тока, соответственно.

Чем больше КПД, тем меньше теряется энергии в процессе преобразования. Инженерам, которым нужно быстро измерять потребляемую мощность, КПД и качество питания переменного/постоянного тока, пригодятся анализаторы мощности. Многоканальные анализаторы могут одновременно измерять входную и выходную мощности с очень высокой точностью.

Однако на производственной линии применение прецизионного прибора не является обязательным, поскольку функциональная проверка не требует такой точности и скорости, как при измерении характеристик на эта-

пе проектирования. Кроме того, в ходе функциональной проверки обычно проверяется работоспособность лишь на предельных режимах. На рисунке 2 показаны типовые уровни, проверяемые на отрезках А, В и С входного сигнала аккумуляторной батареи.

Если входные напряжения и токи статичны, то для их измерения можно использовать цифровой мультиметр. Измерение входного и выходного напряжений относительно земли выполняется достаточно просто. Для измерения тока вместо мультиметра в режиме амперметра, который способен измерять лишь малые токи, лучше использовать токовый шунт. Для этого последовательно с исследуемой цепью включается датчик тока или низкоомный резистор, а мультиметр используется для измерения падения напряжения на этом резисторе, которое можно пересчитать в ток по закону Ома  $V = I \times R$ . И, наконец, КПД можно рассчитать с помощью полученных замеров входных/выходных токов и напряжений.

Решение для коммутации нагрузки Keysight TS-5000 предлагает возможность измерения тока. Нагрузочные карты имеют в каждом канале последовательный резистор или датчик тока, что позволяет измерять потребляемый ток. Архитектура нагрузочных карт и матричные коммутаторы обеспечивают подключение недорогих мультиметров, что значительно снижает стоимость производственных решений для измерения КПД преобразователей постоянного тока.

## ИЗМЕРЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ

Проверка стабильности требуется для того, чтобы гарантировать надёжную работу преобразователя постоянного тока во время активации. Быстропереключаемый источник постоянного напряжения программируется так, чтобы воссоздать форму импульса, свойственную аккумуляторной батарее.

Затем для регистрации входных импульсов и проверки скоростей спада и нарастания используется дигитайзер. Кроме проверки входного напряжения, дигитайзер используется для измерения стабильности выходного напряжения. Сигнал выходного напряжения регистрируется во время активации преобразователя. Полная форма сигнала иллюстрирует общую стабильность выхода – уровень пульсаций, среднее значение, двойной размах и скорость установления в режиме повышения

напряжения. Рекомендуется использовать дигитайзер с минимальным периодом дискретизации 0,1 мкс – это позволяет регистрировать любые кратковременные броски напряжения.

Автомобильные аккумуляторы обычно поддерживают напряжение около 12,6 В, поэтому дигитайзер должен обнаруживать входные сигналы с напряжением более 10 В. Мощные преобразователи постоянного тока обычно имеют несколько входов и выходов, и для одновременного измерения по входам и выходам понадобится дигитайзер с числом каналов больше двух. Регистрация входных и выходных сигналов должна синхронизироваться по времени, что позволяет сопоставлять все сигналы и сокращает общее время тестирования.

Дигитайзер Keysight M9217A/L453xA поставляется с двумя или четырьмя изолированными входными каналами, что позволяет выполнять одновременно несколько измерений. Кроме того, высокое входное напряжение  $\pm 256$  В позволяет обойтись без аттенуатора входного сигнала, который применяется в типичных регистраторах данных с динамическим диапазоном  $\pm 10$  В. Для преобразователей постоянного тока с несколькими входами/выходами можно увеличить число каналов дигитайзера, установив в систему дополнительные дигитайзеры, синхронизируемые через специальные входы запуска. Такая масштабируемость позволяет обновлять решение, не переходя на другие приборы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цена тестирования является одной из ключевых составляющих общей стоимости производства преобразователей постоянного тока.

Производители автомобилей часто тратят много времени на разработку собственных испытательных систем, в результате могут потратить больше на поиск дорогостоящих приборов. Можно существенно сократить общие затраты, правильно выбрав измерительный прибор или использовав правильную методику измерений.

Выбор недорогих измерительных приборов и решений для коммутации нагрузки с серийно выпускаемым измерительным программным обеспечением поможет повысить конкурентоспособность производителей в автомобильной промышленности, сохранив затраты на приемлемом уровне. ©

# Цифровая фильтрация на микроконтроллере AVR

## Часть 2

Вадим Баранов (Украина, Харьков)

В первой части было рассказано о теории рекурсивного цифрового фильтра, описаны способы моделирования его работы, а также приведена принципиальная электрическая схема цифрового фильтра на базе микроконтроллера AVR. Вторая часть статьи описывает разработку и отладку программы цифровой фильтрации, написанной на ассемблере.

### ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ: ПРОГРАММА НА АССЕМБЛЕРЕ

Для проверки описываемого далее программного цифрового фильтра была использована плата 12-разрядного АЦП, описание которого можно найти на сайте [1]. Упрощённая структурная схема устройства приведена на рисунке 7.

Режим работы устройства определяется командами, передаваемыми компьютером по USB. Для проверки программного цифрового фильтра использовался режим запуска преобразования АЦП по прерыванию Таймера 0 микроконтроллера.

После соответствующей команды компьютера микроконтроллер устанавливает на линии Clk уровень логической 1. При обнаружении фронта сигнала на линии Clk АЦП начинает преобразование входного аналогового сигнала. Микроконтроллер удерживает уровень логической 1 на линии Clk в течение времени, достаточного для выполнения преобразования АЦП. Затем микроконтроллер подаёт на линию Clk уровень логического 0 и считывает полученные в результа-

те преобразования данные по 12-разрядной шине данных ШД1.

В микроконтроллере выполняется программная цифровая фильтрация принятых данных, а полученный результат передаётся побайтно по 8-разрядной шине данных ШД2 во внешнюю память. На 19-разрядной шине адреса ША формируется адрес ячейки памяти, в которую будет записан младший или старший байт результата при появлении уровня логического 0 на линии Wt.

Такая процедура «преобразования – фильтрации – записи в память» повторяется до заполнения памяти, после чего микроконтроллер передаёт в компьютер по USB сообщение о завершении работы. По запросам компьютера сохранённый в памяти массив отфильтрованных данных передаётся небольшими блоками в микроконтроллер и далее по USB – в компьютер. Извлечение данных из памяти выполняется побайтно. Для этого на шине адреса ША формируется адрес ячейки памяти, из которой будет считан очередной байт результата.

Компьютерное приложение отображает полученные данные в виде графика.

На вход такого устройства с программным фильтром можно подавать сигналы с одинаковой амплитудой, но разной частоты, и записывать отфильтрованные сигналы. Записанные сигналы разных частот можно просмотреть на графике и зафиксировать амплитуду отфильтрованного сигнала для каждой из частот.

По полученным амплитудам записанных выходных сигналов можно построить АЧХ программного цифрового фильтра.

В листинге 3 (исходный текст программы содержится в архиве, который доступен для загрузки на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)) приведена сокращённая программа устройства, позволяющая выполнить отладку подпрограммы цифровой фильтрации. Сама подпрограмма находится в файле, подключаемом директивой `.include ClcFlt.asm` в последней строке листинга 3, и будет рассмотрена позднее.

Выполнение программы начинается с метки `RESET`. После инициализации сторожевого таймера, портов ввода-вывода и стека вызывается подпрограмма записи коэффициентов фильтра `StScales`. Подпрограмма, помещающая коэффициенты цифрового фильтра в оперативную память микроконтроллера, находится в подключаемом файле `ClcFlt.asm`.

Установка разряда SRE в регистре `MCUSR` разрешает работу микроконтроллера с внешней оперативной памятью, а запись в регистры `XMCR` и `XMCRV` определяет режим работы микроконтроллера при обращении к внешней памяти. Выбран режим без дополнительного времени ожидания с обращением ко всему блоку памяти в 64 К.

После разрешения прерываний командой `sei` вызывается подпрограмма `ADTimer`, запускающая преобразование входного сигнала в код, цифровую фильтрацию кода и запись полученных значений во внешнюю оперативную память до её заполнения с переходом в бесконечный цикл (мет-

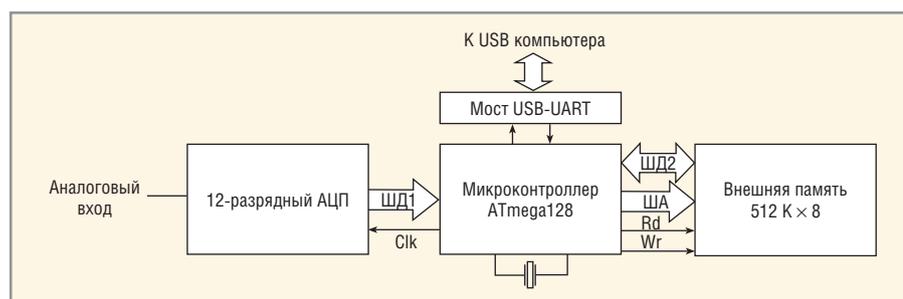


Рис. 7. Структурная схема цифрового фильтра на AVR: ШД1, ШД2 – шина данных 1, шина данных 2; ША – адресная шина; Clk – тактовый сигнал для АЦП; Rd – линия управления считыванием внешней памяти; Wr – линия управления записью во внешнюю оперативную память

ка cycle) по завершении выполнения подпрограммы.

В полной программе подпрограмма `ADCTimer` вызывается по команде, полученной от компьютера, а по её завершении записанные данные передаются в компьютер.

### Подпрограмма `ADCTimer`

Так как по линии `CLK` микроконтроллер передаёт в АЦП тактовые импульсы, соответствующая линия микроконтроллера переводится в режим передачи, на ней устанавливается уровень логического 0.

В переменную `ust` помещается значение, соответствующее режиму записи `stWr`. В пару регистров `YH:YL` помещается адрес, начиная с которого во внешнем ОЗУ будут размещаться отфильтрованные данные.

В регистр `CLKcr` помещается состояние, в котором должен находиться `PORTE` при передаче микроконтроллером уровня логического 0 по линии `CLK`, в регистр `CLKset` – состояние для `PORTE` при передаче уровня логической 1 по линии `CLK`.

В регистр `T0rpt` помещается значение, определяющее счёт Таймера 0 до следующего переполнения.

В регистры `TCNT0`, `TCSR0` и `TMSK` передаются значения, инициализирующие работу Таймера 0 и его переполнение, повторяющееся с частотой 1024 Гц (для этого в обработчике прерывания Таймера 0 нужно снова записывать в регистр `TCNT0` значение, хранящееся в регистре `T0rpt`).

Микроконтроллер переходит в режим ожидания окончания преобразования и записи 30 000 выборок (60 000 байт) во внешнее ОЗУ, о чём будет свидетельствовать обнуление переменной `ust`. Пока же в этой переменной состояние, отличное от нуля, выполняется возврат к метке `Wr1`, а Таймер 0 продолжает работу.

По окончании преобразования, фильтрации и записи данных Таймер 0 останавливается, а в рабочей программе дополнительно вызывается подпрограмма, передающая в компьютер сообщение об окончании записи (в упомянутом листинге 3 она отсутствует).

### Обработчик прерывания Таймера 0

В начинающемся меткой `ovf0` обработчике прерывания переполнения Таймера 0 командой `wdr` выполняется сброс сторожевого таймера.

Поскольку промежуточные результаты при вычислениях, связанных с цифровой фильтрацией, будут храниться во внутреннем ОЗУ микроконтроллера, очищается регистр `MCUSR`, в частности определяющий, с каким ОЗУ (внутренним или внешним) работает микроконтроллер.

В счётчик Таймера 0 помещается содержимое регистра `T0rpt`, что обеспечит следующее прерывание выполнения Таймера 0 через 1/1024 с.

В `PORTE` выводится содержимое регистра `CLKset`, обеспечивающее уровень логической 1 на линии `CLK`. При таком состоянии линии данные могут быть считаны из микросхемы АЦП.

Двенадцать линий данных АЦП соединены с линиями портов E и F микроконтроллера. В регистр `r1` младший байт результата преобразования АЦП считывается через порт E, в регистр `r2` считывается старший полубайт через порт F.

После считывания в `PORTE` передаётся содержимое регистра `CLKcr`, что вызывает появление уровня логического 0 на линии `CLK` и начало нового преобразования АЦП.

Полученное значение выборки входного сигнала размещается во внутренней памяти микроконтроллера в паре ячеек с адресами `ax4` и `ax4+1`.

Подпрограмма `clcFlt` выполняет фильтрацию входной выборки, вычисляя значение выходной выборки. Выходная выборка, сохранённая подпрограммой в паре ячеек внутреннего ОЗУ микроконтроллера, передаётся в переменные `c2` и `c1`.

В регистр `MCUSR` помещается значение `1<<SRE`, переводящее микроконтроллер в режим работы с внешним ОЗУ, а значения выходной выборки, скопированные в переменные `c2:c1`, сохраняются в ячейках внешнего ОЗУ по адресам, определяемым содержимым пары регистров `YH:YL`.

Командой `adiw YL, 1` к содержимому пары регистров `YH:YL` добавляется единица. Когда последняя ячейка 64-килобайтной страницы внешнего ОЗУ будет заполнена, регистры `YH:YL` будут содержать значение `$ffff` – адрес последней ячейки внешнего ОЗУ. Добавление единицы приведёт к обнулению регистров `YH:YL`, что вызовет очистку переменной `ust` перед выходом из обработчика прерывания, чтобы сигнализировать о заполнении памяти данными. В противном случае произойдёт переход к метке `ovf2` и возврат из обработчика прерывания в подпрограмму `ADCTimer`.

### Подпрограмма цифровой фильтрации

Листинг 4 (исходный текст программы содержится в архиве, который доступен для загрузки на сайте журнала [www.soel.ru](http://www.soel.ru)) включает в себя подпрограмму `stScales`, размещающую коэффициенты фильтра во внутреннем ОЗУ микроконтроллера, и подпрограмму цифровой фильтрации `clcFlt`.

В начале листинга в виде комментария приведены формулы для вычисления значения выходной выборки с некоторыми упрощениями, рассмотренными при разборе приложения, написанного в Delphi.

Здесь же определяется необходимое число байт для размещения результата суммирования входных выборок `x0...x4`, исходя из того, что максимальное значение входной выборки при использовании 12-разрядного АЦП составляет `$0fff` или 4095. Сумма же  $x_0 + x_4 + 4 * x_1 + 4 * x_3 + 6 * x_2$  не превысит величины  $\$0fff + \$0fff + 4 * \$0fff + 4 * \$0fff + 6 * \$0fff$ , что составит `$fff0`. То есть, для хранения суммы входных выборок с коэффициентами достаточно двух байт.

Округлённые коэффициенты `ky0...ky3` во время вычислений удобно хранить не во Flash-памяти, а в оперативной памяти микроконтроллера, это сократит время, необходимое для их извлечения.

Модуль коэффициента `ky0`, равный `$00cd61`, помещается подпрограммой `StScales` в три ячейки внутреннего ОЗУ микроконтроллера, начиная с ячейки по адресу `aKy0`. Аналогично размещаются коэффициенты `ky1...ky3`.

Подпрограмма также размещает начальные значения пяти входных и пяти выходных выборок в ОЗУ микроконтроллера. Начальные значения входных выборок соответствуют половине шкалы АЦП (`$07ff` или 2047), для выходных выборок – это половина шкалы АЦП, умноженная на коэффициент `Gain`.

При вычислениях, необходимых для выполнения цифровой фильтрации, вместо деления на коэффициент `Gain`, равный 40929, будем выполнять деление на 65536, что эквивалентно сдвигу результата вправо 16 раз или отбрасыванию двух младших байт. И хотя такая замена в 1,6 раза уменьшит величину выходного сигнала, она позволит значительно уменьшить время вычисления за счёт отказа от громоздкой операции деления. Уменьше-

ние выходного сигнала может быть скомпенсировано, например, увеличением коэффициента усиления в аналоговых цепях, если за микроконтроллером следуют ЦАП и усилитель, или введением дополнительного коэффициента при построении графика, как в нашем случае.

Итак, начальные значения выходных выборок составят  $\$7ff * \$10000$  или  $\$07ff0000$ .

**Подпрограмма ClcFlt**

Подпрограмма `ClcFlt` находится в конце листинга 4 и вызывается обработчиком прерывания Таймера 0 при поступлении очередной входной выборки.

Подпрограмма `ClcFlt` выполняет те же действия, что и рассмотренная С-программа.

Последовательный сдвиг входных и выходных выборок выполняется подпрограммой `ShftXy`.

Суммирование входных выборок с умножением их на необходимые коэффициенты выполняется при вызове подпрограммы `sumX`. Результат суммирования оказывается в паре ячеек ОЗУ, адрес которых – `asumX`.

Суммирование выходных выборок с умножением на соответствующие коэффициенты выполняется в подпрограмме `sumY`. Результат остаётся в регистрах `b5:b4:b3:b2`.

К полученному четырёхбайтному результату добавляется сумма входных выборок, сохранённая ранее в ОЗУ.

Общая сумма входных и выходных выборок, умноженных на индивидуальные коэффициенты, записывается в четыре ячейки памяти, начиная с адреса `ay4`.

**Подпрограмма сдвига входных и выходных выборок shftXY**

Подпрограмма выполняет замещение старых выборок новыми. В С-программе эта операция записывалась так:

```
x0 = x1; x1 = x2; x2 = x3;
x3 = x4;
y0 = y1; y1 = y2; y2 = y3;
y3 = y4; .
```

В программе на ассемблере выполняется побайтное извлечение значения более поздней (например, третьей) выборки в регистр временного хранения `tmp`, а затем содержимое этого регистра сохраняется в ячейку для хранения более ранней (второй) выборки.

Для входных выборок извлекаются и сохраняются по два байта, для выходных – по четыре байта, в соответствии с длиной входных и выходных выборок.

**Подпрограмма суммирования входных выборок sumX**

Как уже было показано, максимально возможное значение результата суммирования входных 12-разрядных выборок при коэффициентах 1, 4, 6, 4, 1 не превышает величины  $\$fff0$ . То есть, как весь результат, так и промежуточные результаты потребуют не более двух байт памяти.

При программировании вычислений на ассемблере ищется компромисс между минимизацией времени вычисления и минимизацией количества используемых регистров.

В рассматриваемой задаче предпочтительным оказалось суммирование выборок с одинаковыми коэффициентами: сначала суммируются выборки `x0` и `x4` с единичными коэффициентами, затем – выборки `x1` и `x3`. После суммирования результат сдвигается влево на два разряда, что эквивалентно умножению выборок на коэффициент 4.

Полученный результат добавляется к накапливаемой сумме, хранящейся в `x0 + x4`.

Затем в пару переменных `b3:b2` помещается значение выборки `x4`, его однократный сдвиг влево соответствует умножению на 2. Результат добавляется к накапливаемой сумме, затем выполняется ещё один сдвиг содержимого регистров `b3:b2`. Теперь регистры хранят учетверённое значение выборки `x4`, которое также добавляется к накапливаемой сумме. То есть, мы добавили  $2 * x4 + 4 * x4$  или  $6 * x4$ .

Полученный двухбайтный результат суммирования входных выборок помещается в ОЗУ микроконтроллера по адресу `asumX`, так как регистры, использовавшиеся для суммирования входных выборок, понадобятся для операций с выходными выборками.

**Подпрограмма суммирования выходных выборок sumY**

Выражение для суммы, определяющей значение выходной выборки `y4`, имеет вид:

$$y4 = (x0 + x4) + 4 * (x1 + x3) + 6 * x2 + Ky0 * y0 + Ky1 * y1 + Ky2 * y2 + Ky3 * y3$$

или

$$y4 = sumX + sumY.$$

Сумма входных выборок вычисляется подпрограммой `sumX`.

Подпрограмма `sumY` должна вычислить сумму выходных выборок:

$$sumY = Ky0 * y0 + Ky1 * y1 + Ky2 * y2 + Ky3 * y3.$$

Перепишем выражение для `sumY`, указав знак при коэффициентах `Ky`:

$$sumY = -Ky0 * y0 + Ky1 * y1 - Ky2 * y2 + Ky3 * y3.$$

После группировки с учётом знака коэффициента:

$$sumY = - (Ky0 * y0 + Ky2 * y2) + (Ky1 * y1 + Ky3 * y3).$$

Именно такая последовательность вычислений – определение суммы выходных выборок с отрицательными коэффициентами, затем вычисление суммы выборок с положительными коэффициентами, а затем вычисление общей суммы – применяется в подпрограмме `sumY`.

Суммирование выборок с отрицательными коэффициентами начинается извлечением из ОЗУ микроконтроллера выборки `y0`, размещённой в четырёх ячейках, начиная с адреса `ay0`, и помещением её в четыре регистра `c3:c0`.

Из ОЗУ микроконтроллера извлекается коэффициент `Ky0`, размещённый в трёх ячейках, начиная с адреса `aky0`, и помещается в регистры `b2:b0`. Напомним, что в ОЗУ были размещены модули отрицательных коэффициентов. Подпрограмма `mul4x3` выполняет умножение четырёхбайтного числа, хранимого в регистрах `c3:c0`, на трёхбайтное число, хранимое в регистрах `b2:b0`. Результат умножения оказывается в семи регистрах `b6:b0`, он копируется в семь ячеек ОЗУ микроконтроллера, начиная с адреса `asumYm`.

В такой же последовательности выполняется операция умножения выборки `y2` на коэффициент `Ky2`. Результат умножения остаётся в регистрах `b5:b0`, а в переменные `c6:c0` из ОЗУ помещается полученный перед этим результат умножения `y0 * Ky0`, хранящийся по адресу `asumYm`.

Оба результата складываются, а сумма вновь помещается в ОЗУ по адресу  $asum_{YM}$ .

Аналогично выполняется умножение и суммирование выходных выборок с положительными коэффициентами  $y_1 * Ky_1 + y_3 * Ky_3$ , но лишь промежуточный результат умножения  $y_1 * Ky_1$  размещается в ОЗУ по адресу  $asum_{YR}$ .

По окончании суммирования выходных выборок с положительными коэффициентами результат остаётся в регистрах  $b_6 : b_0$ .

В регистры  $c_6 : c_0$  из ОЗУ микроконтроллера передаётся сохранённая по адресу  $asum_{YM}$  сумма выходных выборок с отрицательными коэффициентами. Она вычитается из суммы выходных выборок с положительными коэффициентами. Результат остаётся в шести регистрах  $b_6 : b_0$ .

#### Подпрограмма умножения четырёхбайтного числа на трёхбайтное mul4x3

Подпрограмма умножения традиционна: три байта множителя помещаются в младшие байты  $b_2 : b_0$  семибайтного результата  $b_6 : b_0$ .

Содержимое байтов  $b_6 : b_0$  сдвигается вправо. Если перед сдвигом в младшем разряде была единица, после сдвига установится флаг C регистра флагов микроконтроллера, тогда к старшим четырём байтам результат  $b_6 : b_3$  будет прибавляться множимое  $c_3 : c_0$ . В противном случае добавление к результату не выполняется. Процесс сдвига и суммирования повторяется 24 раза, по числу разрядов трёхбайтного множителя, пока весь множитель, за счёт сдвига, не окажется замещённым результатом.

#### Отладка программы на ассемблере

Отладка выполняется в AVR Studio. Интерес при отладке представляет определение времени выполнения подпрограммы `mul4x3`. При отладке подпрограммы `mul4x3` следует учитывать, что время её выполнения максимально, когда множитель в двоичном представлении содержит максимальное число единиц. Время минимально, если множитель равен нулю, тогда не выполняется ни одной операции добавления множимого.

Ориентировочно время выполнения подпрограммы `mul4x3` составляет

113 мкс при тактовой частоте микроконтроллера 14,7456 МГц, что позволяет увеличить частоту переполнения Таймера 0, а значит и частоту выборки АЦП, с 1024 до 8000 Гц.

Для C-программы, откомпилированной в IAR-EWB без оптимизации кода, время вычислений, связанных с цифровой фильтрацией, составило 311 мкс при той же тактовой частоте микроконтроллера, то есть, почти втрое больше.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При реализации математических вычислений в программе микроконтроллера стоит уделить внимание упрощению и сокращению вычислений – попытаться перейти от вычислений с плавающей запятой к целочисленным вычислениям, возможно, сгруппировать отдельные части формулы с одинаковыми коэффициентами, где допустимо, перейти от умножения и деления к сдвигу. Подобные мероприятия могут ускорить вычисления и удешевить конечное устройство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. АЦП. [www.adc-usb.narod.ru](http://www.adc-usb.narod.ru)





## Новые стандарты измерений сигналов

### Портативные приборы TiePie engineering с USB-интерфейсом



**HANDYSCOPE HS6 DIFF**  
4-канальный USB-осциллограф с дифференциальными входами, высоким разрешением и частотой опроса:

- полоса частот входного сигнала 250 МГц
- частота дискретизации до 500 МГц
- разрешение 12, 14, 16 бит
- память 64 Мсэмпл
- встроенный генератор 30 МГц, разрешение 14 бит



**HANDYPROBE HP3**  
Профессиональный USB-прибор с функциями мультиметра, осциллографа, спектроанализатора, логического анализатора:

- диапазон входного сигнала 0,2–800 В
- разрешение 10 бит
- максимальная частота дискретизации 100 МГц

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ TiePie**

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • [info@prosoft.ru](mailto:info@prosoft.ru) • [www.prosoft.ru](http://www.prosoft.ru)



# Средства программирования PIC-контроллеров

## Часть 1

Владимир Давыдов\* (Санкт-Петербург)

В статье рассматривается средство программирования MPLAB IDE компании Microchip. Описывается организация взаимодействия MPLAB с MATLAB Simulink компании MathWorks для программирования PIC-контроллеров в графической среде Simulink, а также взаимодействие MPLAB с программатором Olimex PIC-KIT3 для прошивки PIC-контроллеров.

### ВВЕДЕНИЕ

PIC-контроллеры наиболее популярны в тех случаях, когда требуется создать недорогую компактную систему с низким энергопотреблением, не предъявляющую высоких требований по управлению системой. Эти контроллеры позволяют заменить аппаратную логику гибкими программными средствами, которые взаимодействуют с внешними устройствами через различные порты ввода-вывода.

Миниатюрные PIC-контроллеры хороши для построения преобразователей интерфейсов последовательной передачи данных, для реализации функций «приём – обработка – передача данных» и несложных регуляторов систем автоматического управления.

Компания Microchip распространяет MPLAB – бесплатную интегрированную среду редактирования и отладки программ, которая записывает бинарные файлы в PIC-микроконтроллеры через программаторы.

MPLAB может взаимодействовать с MATLAB Simulink, что позволяет разрабатывать программы для PIC-контроллеров в Simulink – среде графического моделирования и анализа динамических систем.

В данной статье рассматриваются средства программирования PIC-контроллеров MPLAB и MATLAB Simulink, а также программатор Olimex PIC-KIT3.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНИАТЮРНОГО PIC-КОНТРОЛЛЕРА

Семейство PIC12xxx содержит контроллеры в миниатюрном 8-выводном корпусе со встроенным тактовым генератором. Контроллеры имеют RISC-архитектуру и обеспечивают выпол-

нение большинства команд процессора за один машинный цикл.

Для примера, в таблице 1 даны характеристики недорогого компактного 8-разрядного контроллера PIC12F629 с многофункциональными портами, малым энергопотреблением и широким диапазоном питания [1].

Дополнительно стоит отметить следующие особенности контроллера PIC12F629:

- возможность сброса по включению питания (POR);
- наличие таймера сброса (PWRT) и таймера ожидания запуска генератора (OST);
- возможность сброса по снижению напряжения питания (BOD);

- наличие сторожевого таймера WDT;
- наличие мультиплексируемого вывода (-MCLR);
- наличие системы прерываний по изменению уровня сигнала на входах;
- индивидуально программируемые для каждого входа подтягивающие резисторы;
- программируемая защита входа;
- поддержка режима пониженного энергопотребления (SLEEP);
- возможность выбора режима работы тактового генератора;
- внутрисхемное программирование ICSP с использованием двух выводов;
- четыре пользовательские ID-ячейки.

КМОП-технология контроллера обеспечивает полностью статический режим работы, при котором остановка тактового генератора не приводит к потере логических состояний внутренних узлов.

Микроконтроллер PIC12F629 имеет 6-разрядный порт ввода/вывода GPIO. Один вывод GP3 порта GPIO работает только на вход. Остальные выводы мож-

Таблица 1. Характеристики микроконтроллера PIC12F629

Параметр	Тип/значение
Архитектура	RISC
Разрядность контроллера	8
Напряжение питания VDD	от 2 до 5,5 В (<6,5 В)
Потребление	<1,0 мА при 4 МГц и питании 5,5 В 20 мкА при 32 кГц и питании 2 В <1,0 мкА в режиме SLEEP и питании 2 В
Рассеиваемая мощность	0,8 Вт
Количество многофункциональных каналов ввода/вывода	6/5
Максимальный выходной ток портов GPIO	125 мА
Ток через программируемые внутренние подтягивающие резисторы портов	≥50 (250) ≤400 мкА @ 5 В
Тактовая частота от внешнего генератора	20 МГц
Длительность машинного цикла	200 нс
Тактовая частота от внутреннего RC-генератора	4 МГц ±1%
Длительность машинного цикла	1 мкс
FLASH-память программ	1 Кбайт
Число циклов стирание/запись	≥1000
ОЗУ-память данных	64 Кбайт
EEPROM-память данных	128 Кбайт
Число циклов стирание/запись	≥10000 (-40°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +125°C)
Количество аппаратных регистров специального назначения	16
Список команд	35 инструкций (все команды выполняются за один машинный цикл, кроме команд перехода, выполняемых за два цикла)
Аппаратный стек	8 уровней
Таймер/счётчик TMR0	8-разрядный с предделителем
Таймер/счётчик TMR1	16-разрядный с предделителем
Предельная рабочая температура T <sub>A</sub> для исполнения E (расширенный диапазон)	-40...+125°C
Температура хранения	-65...+150°C

\*Dr. Bob Davidov.

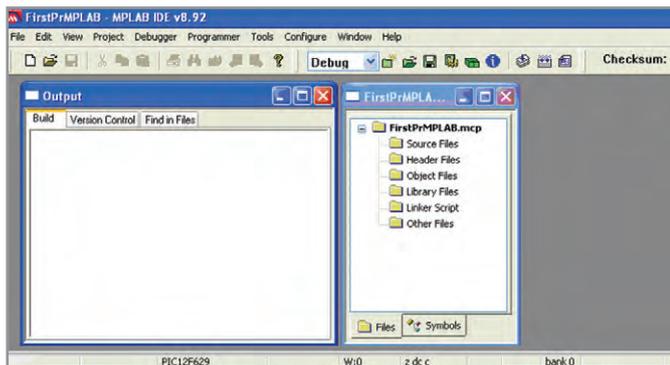


Рис. 1. Интерфейс среды MPLAB v8.92 и шаблон проекта

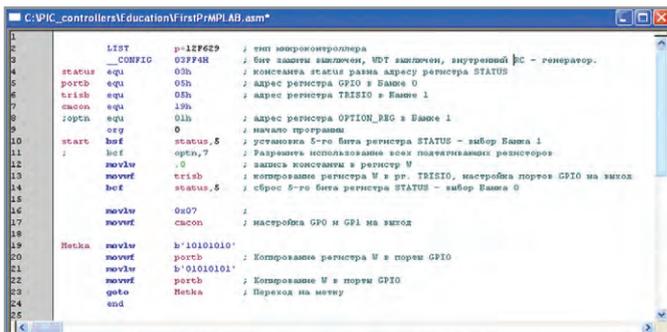


Рис. 2. Пример простейшей программы (на ассемблере) вывода сигналов через порты контроллера GP0, GP1, GP2, GP4, GP5 на максимальной частоте

но сконфигурировать для работы как на вход, так и на выход. Каждый вывод GPIO имеет индивидуальный бит разрешения прерываний по изменению уровня сигнала на входах и бит включения внутреннего подтягивающего резистора.

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ СРЕДА РАЗРАБОТКИ MPLAB IDE**

MPLAB IDE – бесплатная интегрированная среда разработки ПО для PIC-микроконтроллеров, которая включает средства для создания, редактирования, отладки, трансляции и компоновки

программ, а также записи машинного кода в микроконтроллеры через программаторы.

Бесплатные версии MPLAB (включая MPLAB 8.92) можно скачать на сайте компании Microchip [2].

**Создание проекта**

Процесс создания проекта программы PIC-контроллера в среде MPLAB включает следующие шаги [3].

1. Вызов менеджера проекта: Project > Project Wizard.
2. Выбор типа PIC-микроконтроллера, например, Device > PIC12F629.

3. Выбор компилятора, например, Microchip MPASM Toolsuite для ассемблера.
4. Выбор пути к каталогу проекта (кнопка Browse...) и ввод имени проекта.
5. Подключение файлов к проекту в окне Project Wizard > Step Four (можно не выполнять, а сделать позже, внутри активного проекта, кнопка Next открывает следующее окно).
6. Завершение создания проекта (кнопка Finish).
7. В результате создания проекта FirstPrMPLAB интерфейс MPLAB принимает вид, показанный на рисунке 1.

## DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Your Power Partner

- 1-2 Вт
- стандартные корпуса SIP4, SIP7, SMD
- модели с разными напряжениями изоляции
- широчайший модельный ряд преобразователей

УЖЕ НА СКЛАДЕ

**ПЛАТАН**

www.platan.ru

Офисы в Москве: м. Молодежная, ул. Ивана Франко, 40, стр. 2, (495) 97 000 99, info@platan.ru;  
 м. Электрозаводская, ул. Б. Семеновская, 40, стр. 26, БЦ Агат, (495) 744 70 70, platan@platan.ru  
 Офис в Санкт-Петербурге: ул. Зверинская, 44, (812) 232 88 36, baltika@platan.spb.ru

Реклама

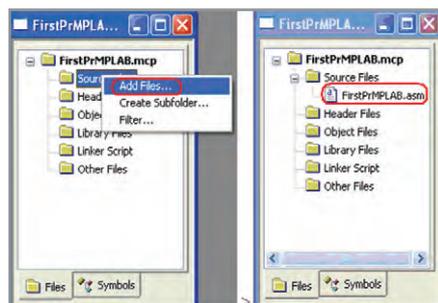


Рис. 3. Добавление программы FirstPrMPLAB.asm к проекту FirstPrMPLAB.mcp

### Создание файла программы

Программу можно создать при помощи любого текстового редактора. В MPLAB имеется встроенный редактор, который обеспечивает ряд преимуществ. Например, оперативный лексический анализ исходного текста, в результате которого в тексте цветом выделяются зарезервированные слова, константы, комментарии, имена, определённые пользователем.

Создание программы в MPLAB можно выполнить в следующей последовательности.

1. Открыть редактор программ: File > New. Изначально программе присвоено имя Untitled.
2. Набрать или скопировать программу, например, на ассемблере.
3. Сохранить программу под другим именем (File > Save As), например, FirstPrMPLAB.asm.

Любая программа на ассемблере начинается директивой `org` и заканчивается директивой `end`. Переход `goto Metka` обеспечивает циклическое выполнение программы.

В программе (см. рис. 2) используются следующие обозначения:

- директива `LIST` – назначение типа контроллера;
- директива `__CONFIG` – установка значений битов конфигурации контроллера;
- директива `equ` – присвоение числового значения;
- директива `org 0` – начало выполнения программы с адреса 0;
- команда `bsf` – устанавливает бит указанного регистра в 1;
- команда `bcf` – сбрасывает бит указанного регистра в 0;
- команда `movlw` – записывает константу в регистр W;
- команда `movwf` – копирует содержимое регистра W в указанный регистр;
- команда `goto` – обеспечивает переход без условия на строку с меткой;
- директива `end` – конец программы.

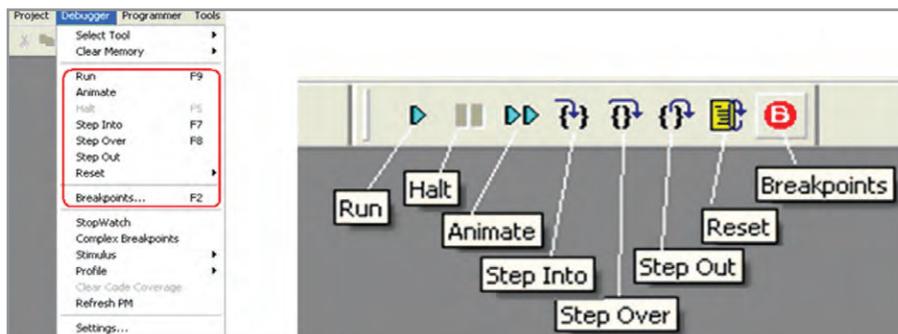


Рис. 4. Команды отладчика

### Установка требуемой конфигурации микроконтроллера

Конфигурация микроконтроллера зависит от настроек слова конфигурации. Настройки можно установить в директиве `__CONFIG` программы непосредственно или через меню MPLAB: Configure > Configuration Bits. Параметры директивы `__CONFIG` контроллера PIC12F629 перечислены в таблице 2.

### Добавление программы к проекту

Для отладки и компиляции файл программы необходимо вставить в проект. Пример добавления программы к проекту показан на рисунке 3. Сохранить материалы проекта можно командой File > Save Workspace.

### Компиляция

Чтобы создать бинарный файл с расширением `.hex` для прошивки микроконтроллера, необходимо откомпилировать проект. Запуск компиляции выполняется командой Project > Build All. Результаты компиляции можно увидеть в окне Output (см. рис. 1). Если в программе нет ошибок, то компилятор выдаёт сообщение об успешной компиляции BUILD SUCCEEDED. Загрузочный HEX-файл можно найти в рабочем каталоге.

### Отладка программы

Отладку программы в среде MPLAB IDE можно выполнить при помощи аппаратного эмулятора MPLAB REAL ICE или программного симулятора MPLAB SIM. Запуск последнего выполняется нажатием Debugger > Select Tool > 4 MPLAB SIM.

После запуска отладчика в окне Output (см. рис. 1) появляется закладка MPLAB SIM, куда MPLAB выводит текущую информацию отладчика. Также после запуска становятся активными команды отладчика (см. рис. 4):

- Run – непрерывное выполнение программы до точки останова (Breakpoint), если таковая установлена;
- Halt – остановка программы на текущем шаге выполнения;
- Animate – анимация непрерывного выполнения программы;
- Step Into – выполнение по шагам (вызовы Call выполняются за один шаг);
- Step Over – выполнение по шагам, включая команды вызовов Call;
- Reset – начальная установка программы, переход указателя на первую команду;
- Breakpoints – отображение списка точек останова.

При выполнении программы по шагам на текущий шаг указывает зелёная стрелка (см. рис. 5). Непрерывное выполнение программы останавливается командой Halt или при достижении программой точки останова. Точка останова (символ B в красном кружке) устанавливается или снимается в строке программы двойным щелчком.

В процессе отладки можно наблюдать за состоянием регистров, переменных и памяти в соответствующих окнах, открываемых в разделе View основного меню. В процессе отладки можно вносить изменения в код программы и содержимое регистров. После внесения изменений необходимо перекомпилировать программу.

Входные сигналы портов модели микроконтроллера можно задать в разделе Debugger > Stimulus. Устанавливаемые состояния сигналов портов привязываются к времени (тактам) отладки.

Иногда результаты выполнения программы в режиме отладки не соответствуют выполнению этой же программы в реальном контроллере. Так, например, отладчик программы (см. рис. 5) без инструкций `movlw 0x07` и `movwf cmcon` показывает, что выходы GP0 и GP1 регистра GPIO не изме-

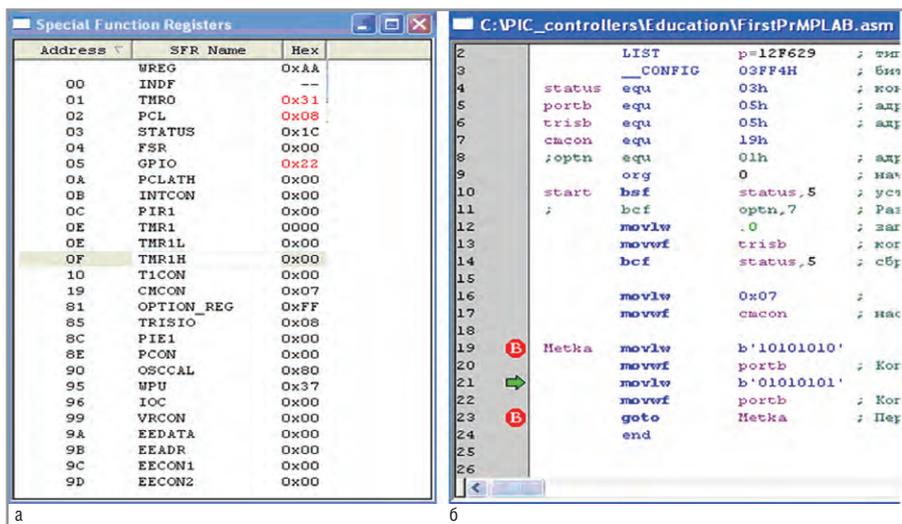


Рис. 5. Выполнение программы: а – состояние регистров специального назначения контроллера на момент выполнения программы; б – выполняемая по шагам программа

Таблица 2. Параметры директивы `__CONFIG`

Разряд	Состояние	Описание
2-0		FOSC2:FOSCO. Выбор тактового генератора
	111	Внешний RC-генератор. Подключается к выводу GP5. GP4 работает как CLKOUT
	110	Внешний RC-генератор. Подключается к выводу GP5. GP4 работает как ввод/вывод
	101	Внутренний RC-генератор 4 МГц. GP5 работает как ввод/вывод. GP4 – как CLKOUT
	100	Внутренний RC-генератор 4 МГц. GP5 и GP4 работают как ввод/вывод
	011	EC-генератор. GP4 работает как ввод/вывод. GP5 – как CLKIN
	010	HC-генератор. Резонатор подключается к GP4 и GP5
	001	XT-генератор. Резонатор подключается к GP4 и GP5
3	000	LP-генератор. Резонатор подключается к GP4 и GP5
		WDTE – настройка сторожевого таймера (Watchdog Timer). Сторожевой таймер предохраняет микроконтроллер от зависания – перезапускает программу через определённый интервал времени, если таймер не был сброшен
1	1	WDTE включён
	0	WDTE выключен
4		PWRT – разрешение работы таймера включения питания. Таймер задерживает микроконтроллер в состоянии сброса при подаче питания
	1	PWRT выключен
0	0	PWRT включён
		MCLR – выбор режима работы вывода GP3/–MCLR
5	1	Работает как –MCLR
	0	Работает как порт ввода-вывода GP3
6		BODEN – разрешение сброса по снижению напряжения питания (как правило, <2,0 В). При разрешении сброса BOR автоматически включается таймер PWRT
	1	Разрешён сброс BOR
0	0	Запрещён сброс BOR, автоматически включается таймер
		CP – бит защиты памяти программ от чтения программатором
7	1	Защита выключена
	0	Защита включена
8		CPD – бит защиты EPROM-памяти данных
	1	Защита выключена
0	0	Защита включена
	11-9	Не используются: читается как логическая 1
13-12		BG1:BG0. Биты калибровки сброса по снижению питания
	00	Нижний предел калибровки
11	Верхний предел калибровки	

няются – находятся в нулевом состоянии, содержимое регистра GPIO попеременно равно 0x14 и 0x20. Однако, контроллер, выполняющий программу без указанных инструкций, показывает на осциллографе циклическую работу всех пяти выходов: 0x15 и 0x22, включая GP0 и GP1.

Программа (см. рис. 5) формирует сигналы максимальной частоты на всех выходах контроллера. За период сигналов 5,3 мкс выполняется 5 команд (6 машинных циклов), амплитуда GP0 сигнала на осциллограмме равна 4,6 В, измеренное программатором питание контроллера – 4,75 В.



# Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи типа POL



## Серия MFP

### Основные характеристики

- Диапазон рабочих температур –55...+125°C
- КПД до 92% с понижением при 30% нагрузке
- Диапазон входных напряжений от 3 до 6 В
- Пять выводов с предустановленными напряжениями 0,64; 0,8; 1,6; 2,5 и 3,3 В
- Регулировка выходного напряжения от 0,8 до 3,5 В
- Ток нагрузки до 7 А
- Стойкость к воздействию одиночных заряженных частиц с ЛПЭ 85 МэВ·см<sup>2</sup>/мг
- Уровни дозовой стойкости 30, 50 и 100 крад (Si)



ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CRANE ELECTRONICS

PROSOFT®



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

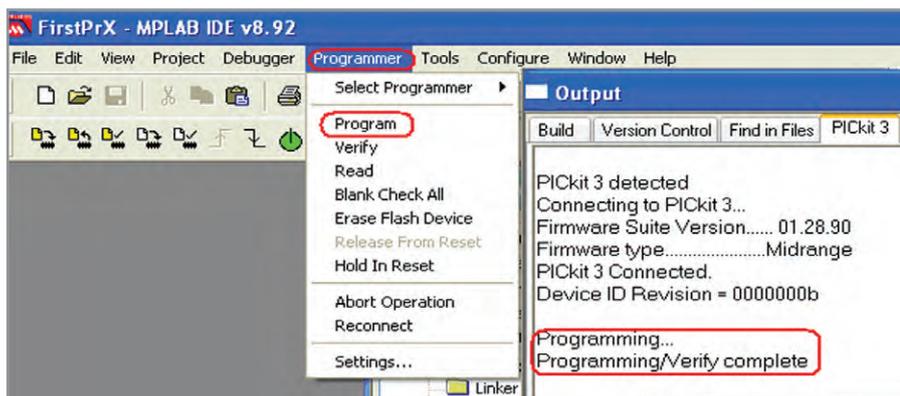


Рис. 6. Запуск прошивки микроконтроллера и вид сообщения об успешной прошивке

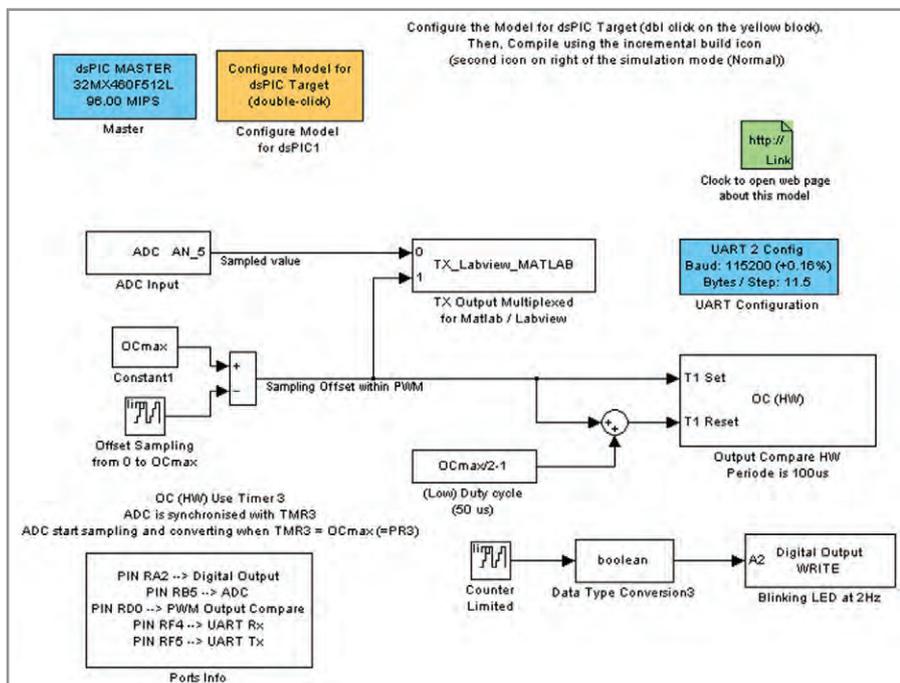


Рис. 7. Пример программы Simulink для PIC-контроллера

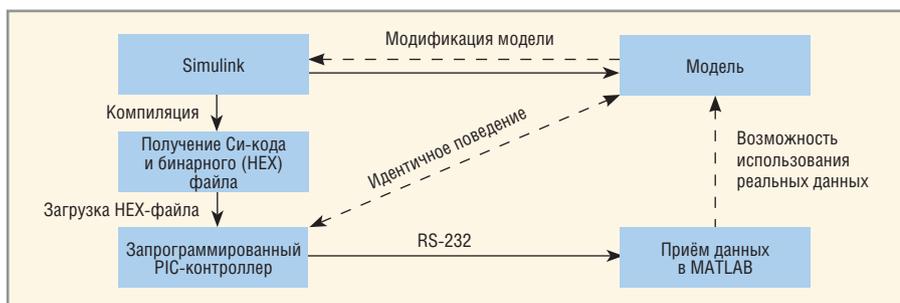


Рис. 8. Структура средств построения адекватной модели PIC-контроллера на языке графического программирования

**Прошивка микроконтроллера**

Для записи программы в микроконтроллер (прошивки контроллера) необходимо микроконтроллер подключить к интегрированной среде MPLAB IDE через программатор. Организация подключения будет показана во второй части статьи.

В контроллер PIC12F629 записана заводская калибровочная константа

настройки частоты внутреннего тактового генератора. При необходимости её можно прочитать и восстановить средствами MPLAB с использованием программатора.

Команды для работы с программатором и изменения его настроек находятся в меню Programmer. Тип программатора в MPLAB выбирается в меню Programmer > Select Programmer.

Прошивка микроконтроллера через программатор запускается командой Programmer > Program. Сообщение об успешной прошивке показано на рисунке 6.

Во время прошивки микроконтроллера у программатора PIC-KIT3 мигает жёлтый светодиод.

**Подключение MATLAB Simulink к MPLAB**

В системе моделирования динамических систем Simulink (приложение к MATLAB) на языке графического программирования [4] можно разрабатывать программы для семейства PIC-контроллеров, имеющих АЦП/ЦАП, счётчики, таймеры, ШИМ, DMA, интерфейсы UART, SPI, CAN, I<sup>2</sup>C и др.

Пример программы на языке графического программирования для PIC-контроллера, выполненной в среде моделирования динамических систем Simulink, показан на рисунке 7. Модель содержит блоки: АЦП (ADC Input), интерфейс UART, широтно-импульсный преобразователь (PWM) и цифровой порт (Digital Output), описывающие работу узлов контроллера, а также блоки библиотеки Simulink (счётчики, сумматоры и др.), которые после компиляции реализуются программными средствами контроллера.

Взаимодействие средств разработки и компиляции программ для PIC-контроллеров в Simulink показано на рисунке 8 [5].

Для построения среды разработки необходимы следующие компоненты MATLAB:

- Simulink;
- Real-Time Workshop Embedded Coder;
- Real-Time Workshop.
- Также потребуется Си-компилятор компании Microchip:
- C30 для контроллеров PIC24, dsPIC30 и dsPIC33;
- C32 для контроллеров серии PIC32.

**Установка компонентов MATLAB**

В Интернете [6] имеются Simulink-библиотеки (dsPIC Toolbox) для PIC-контроллеров и версий MATLAB с R2006a по R2012a.

Для скачивания библиотеки необходимо зарегистрироваться. Программы поддерживают работу порядка 100 PIC-микроконтроллеров из серий 16MC, 24F, 30F, 32MC, 33F, 56GP, 64MC, 128MC, 128GP.

Бесплатные версии работают с Simulink-моделями PIC-контроллеров, имеющими до 7 портов ввода-вывода.

Для установки dsPIC Toolbox (библиотеки блоков PIC-контроллеров для MATLAB Simulink) необходимо сделать следующие действия [7, 8].

1. Скачать dsPIC Toolbox для требуемой версии MATLAB.
2. Распаковать zip-файл в папке, в которой будут установлены Simulink-блоки.
3. Запустить MATLAB.
4. Настроить текущий каталог MATLAB на папку с распакованным файлом.
5. Открыть файл `install_dsPIC_R2012a.m` и запустить его клавишей F5.

Библиотеки dsPIC и примеры Simulink-моделей устанавливаются в текущую папку MATLAB. Установленные блоки для моделирования PIC-контроллеров доступны в разделе Embedded Target for Microchip dsPIC библиотеки Simulink (см. рис. 9).

Для совместной компиляции Simulink-модели средствами MATLAB и MPLAB необходимо прописать в переменной окружения `path` MATLAB путь с высшим приоритетом к каталогу MPLAB с файлами `MplabOpenModel.m`, `MplabGetBuildinfo.m` и `getHardwareConfigs.m`

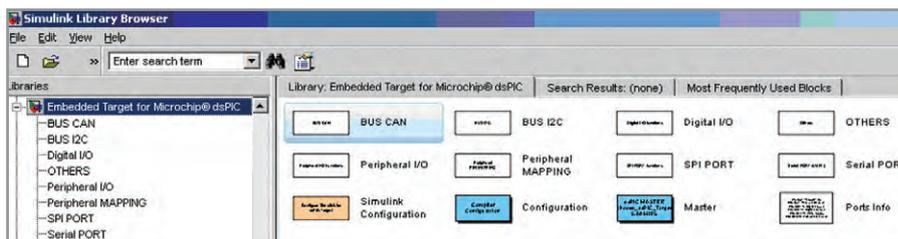


Рис. 9. Блоки установленной библиотеки Embedded Target for Microchip dsPIC

```
>>path('c:\Program Files (x86)\Microchip\MPLAB IDE\Tools\MATLAB\',path).
```

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во второй части статьи будет рассказано о компиляции программы и её загрузке в микроконтроллер.

### ЛИТЕРАТУРА

1. PIC12F6XX. Однокристальные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры компании Microchip Technology Incorporated. PIC12F629, PIC12F675. М. ООО «Микро-чип». 2002.
2. [www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide](http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide).
3. Microchip. MPLAB IDE. User's Guide with MPLAB Editor and MPLAB SIM Simulator.

- [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB\\_User\\_Guide\\_51519c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB_User_Guide_51519c.pdf).
4. Dr. Bob Davidov. Портал научно-практических публикаций [www.portalnp.ru/author/bobdavidov](http://www.portalnp.ru/author/bobdavidov).
  5. Embedded Target for 16 bits PIC. [www.kerhuel.eu/RTWdsPIC/](http://www.kerhuel.eu/RTWdsPIC/).
  6. [www.kerhuel.eu/wiki/Download](http://www.kerhuel.eu/wiki/Download).
  7. ICSP. Внутрисхемное программирование PIC-контроллеров DOC Rev 1.03 (последнее обновление 19.05.2005). [www.5v.ru/icsp.htm](http://www.5v.ru/icsp.htm).
  8. MPLAB IDE Help: MATLAB.
  9. Introduction to Microchip-SIMULINK Blocksets and MATLAB Plug-in for MPLAB® IDE Produced by Murali Manohara Chembarpu. [www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm\\_sg/documents/DeviceDoc/en542925.pdf](http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/DeviceDoc/en542925.pdf).



## Новости мира News of the World Новости мира

### Коммерческие перспективы использования частотных диапазонов для сетей 5G

J'son & Partners Consulting представляет краткие результаты исследования перспектив использования различных частотных диапазонов для сетей 5G в России и в мире.

Одной из важнейших предпосылок для развития сетей 5G является дефицит частотного ресурса, необходимого для обеспечения приемлемого качества услуг, связанных с мобильной передачей данных в условиях продолжающегося экспоненциального роста трафика и грядущей эры Интернета вещей (IoT). Особенно остро стоит проблема нехватки частот в нижних участках спектра, включая диапазон 5 ГГц для Wi-Fi. В этой связи возникают предложения использовать для сетей 5G не только низкие частоты (до 6 ГГц), но и высокие (десятки гигагерц), характеристики которых сильно отличаются от традиционных диапазонов для мобильной связи.

При разработке технологий пятого поколения существует определённый набор «входных» характеристик, которые служат ориентиром для нового стандарта. Например, по сравнению с лучшими из существующих

в настоящее время сетей LTE, скорость передачи данных в сетях 5G должна быть в 10–100 раз выше, время отклика – в 5 раз меньше, сети должны поддерживать в 100 раз больше устройств, и т.п.

Первое совещание 3GPP по разработке 5G, на котором был определён план развития этого стандарта, состоялось в 2015 г. В этом плане, в частности, предусмотрено, что стандарт будет развиваться в две фазы, первая из которых, как ожидается, завершится в 2018 г. (не все требования к сетям 5G будут реализованы), а вторая – в 2019 г.

Cisco считает, что крупномасштабное развертывание инфраструктур 5G можно ожидать к 2020 г. По прогнозам Cisco, к 2021 г. на сервисы 5G будет приходиться 1,5% совокупного мобильного трафика данных. В среднем одно соединение 5G будет генерировать в 4,7 раза больше трафика, чем соединение 4G.

В июне 2016 г. консорциум 3GPP объявил план по стандартизации 5G. Как ожидается, к моменту выхода Release 15 в середине 2018 г. должны быть готовы технологические рекомендации и стандарты, которые лягут в основу дальнейших технологических разработок и промышленного производства

инфраструктурных решений и абонентских устройств. Утверждение стандарта 5G ожидается в 2020 г., после того, как Международный союз электросвязи (МСЭ) даст положительное заключение, а также после того, как Всемирная конференция радиосвязи (WRC-19), которая состоится осенью 2019 г., согласует диапазоны частот для 5G.

Для развития сетей 5G в Европе на начальном этапе планируется использовать частотные диапазоны 700 МГц, 3400–3800 МГц и 24,25–27,5 ГГц.

Ожидается, что низкие частоты (например, 3,4–3,6 ГГц) и широкие полосы обеспечат возможность массовой доступности скоростей до 100 Мбит/с. Данный вариант можно будет применять, например, для реализации технологии eMBB.

Основным сдерживающим фактором использования диапазона C-band (3,4–3,8 ГГц) в европейском макрорегионе является его достаточно сильная фрагментированность. Кроме того, существует множество региональных (местных) присвоений частот – в ряде случаев сроки этих лицензий истекают не ранее 2021 г.

**J'son & Partners Consulting**



# Система управления правилами в САПР Delta Design

## Часть 1

Георгий Шаманов (Москва)

**В статье описывается первая отечественная САПР электроники. Delta Design обеспечивает полный цикл проектирования радиоэлектронных устройств. В первой части статьи объясняется, почему для управления правилами проекта необходима система, и показывается, как она реализована в Delta Design.**

### ВВЕДЕНИЕ

При создании САПР главное – это идея. Вывод клона уже существующей на данный момент на рынке системы не имеет смысла. Таким образом, САПР Delta Design подразумевает не только набор программных средств, но и новые уникальные методологии работы.

Заведение правил – одна из самых трудоёмких задач, выполняемых при разработке проекта печатной платы (ПП). Трудоёмкость возникает по нескольким причинам:

- большое количество типов правил;
- необходимость на некоторых участках платы иметь особые правила.

Рассмотрим подробнее эти причины. Первая связана со сложностью

сохранения целостности электрического сигнала. Например, минимальный зазор от печатного проводника на плате до печатного проводника другой цепи должен быть одним, а до площадки поверхностного монтажа компонента – другим. И, хотя в подавляющем большинстве проектов в разных значениях нет необходимости, правило всё равно приходится вводить, поскольку оно используется регулярно.

Таким образом, существует объективная необходимость в большом количестве разных типов правил. При этом в конкретном проекте может использоваться разное их количество, в зависимости от его сложности.

Необходимость же иметь особые правила возникает объективно по разным причинам. Например, при прохождении печатного проводника между компонентами с высокой плотностью контактов (например, BGA) необходимо уменьшить минимальные зазоры как между проводниками, так и до контактов. В некоторых случаях возникает необходимость установить значение предельных зазоров между двумя конкретными цепями в конкретной области платы, что также усложняет задачу ввода.

Таким образом, функционал должен, с одной стороны, обеспечивать быстрый и удобный ввод данных для простых проектов, с другой – давать возможность установить детальные правила «по месту». Эти противоречивые требования и легли в основу концепции ведения правил в САПР Delta Design: максимальное сокращение и упрощение ввода данных пользователем с одновременным сохранением возможности задавать правила «по месту».

Цепи	Слои и регионы	Набор пра...	Трек к:				СКП к:				
			Треку	СКП	ПО	ПКП	Заливке	Отв.	СКП	ПО	
Все цепи	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
	SIGNAL_1		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
	Region0		0.2	0.25	0.25	0.2	0.25	0.4	0.25	0.25	0
	Region1		0.2	0.25	0.25	0.2	0.25	0.4	0.25	0.25	0
	Region2		0.2	0.25	0.25	0.2	0.25	0.4	0.25	0.25	0
IO-NET	Все слои	2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0026	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0027	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0029	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0030	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0031	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0032	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0033	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0
NET0034	Все слои		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	0.25	0.25	0

Рис. 1. Определение правил зазоров к другим цепям

Реализуется эта концепция за счёт следующих принципов:

- возможность изначально использовать готовые наборы правил;
- предоставление различных способов ведения правил для разной сложности проектов;
- иерархичность ведения правил – правила задаются вначале для платы в целом, а затем уже уточняются для определённых цепей и слоёв;
- возможность определения на плате локальных зон с переопределёнными правилами.

### ФУНКЦИОНАЛ РЕДАКТОРА ПРАВИЛ В DELTA DESIGN

Прежде чем перейти к описанию реализации концепции, рассмотрим непосредственно функционал редактора правил.

Все правила в редакторе поделены на домены (см. рис. 1, левое окно). Под доменом понимается группа правил с единым механизмом задания и определения применимости. Выделены следующие домены:

- правила зазоров;
- правила физические цепей;
- правила роутинга.

Домен зазоров содержит правила для установления минимального расстояния между различными участками печатных проводников на плате. Например, минимальное расстояние от площадки поверхностного монтажа компонента до трека (печатного проводника) на плате. Конструктор платы может определить правила для всей платы в целом, для класса цепи, дифференциальной пары или цепи в разрезе по каждому из слоёв (см. рис. 1).

Правила зазоров от конкретной цепи можно определить до всех других цепей или только до класса цепей или отдельной цепи. Таким образом, можно «тонко» управлять зазорами, определив для всех цепей одни правила, а для конкретных классов цепей определяя уже свои значения (см. рис. 2).

Также возможно отдельно определить правила для зазоров в рамках самой цепи: от одних её участков до других. Набор правил для определения таких зазоров совпадает с набором правил, используемых при определении зазоров к другим цепям.

Особняком в данном домене стоят правила, определяемые только для платы в целом или для слоёв платы. К таким правилам относятся: минимальное расстояние от меди до края платы, мини-

мальное расстояние от одного отверстия в плате до другого.

Следующий домен содержит «физические» правила для проводников ПП. Правила определяют ширину проводников, зауженный режим, параметры дифференциальных пар и другие предельные характеристики печатных проводников на плате (см. рис. 3).

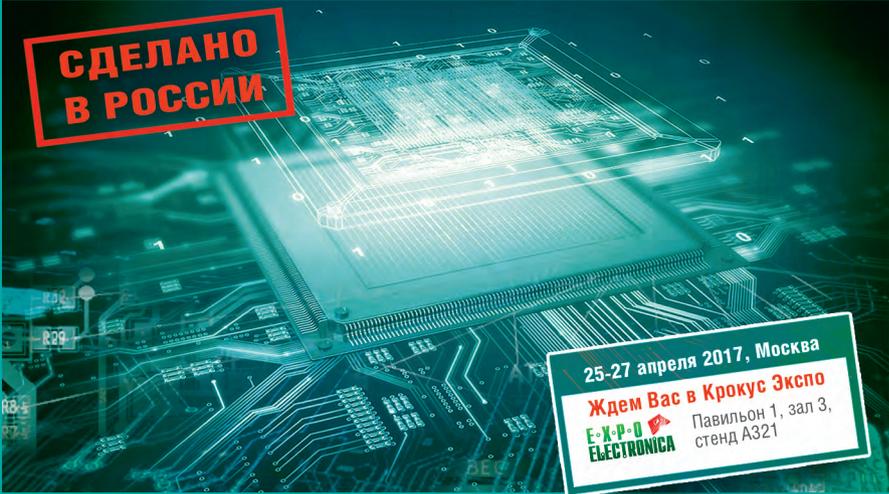
«Физические» правила, аналогично правилам домена зазоров, определяются для платы целиком, а затем могут быть уточнены для класса цепей, диф-

ференциальной пары или конкретной цепи в разрезе слоёв ПП.

Домен трассировки позволяет определить доступность расположения элементов печатного проводника на том или ином слое платы. Например, можно запретить трассировку цепи или расположение области заливки на определённом слое. Запрет или разрешение могут быть установлены не только для конкретной цепи, но и для дифференциальной пары или класса цепей.



## САПР электроники



DeltaDesign — система сквозного проектирования электронных устройств на базе печатных плат

- Менеджер библиотек LIBerty
- Схемотехнический редактор FlexyS
- Схемотехническое моделирование SimOne
- HDL-симулятор Simtera
- Ведение правил DRM
- Редактор печатных плат RightPCB
- Топологический трассировщик TopoR
- Коллективная работа "Workgroup"
- Для предприятий "Enterprise server"

WWW.DD.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ EREMEX



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





Цели	Набор правил										
	Все цели	IO-NET	NET0026	NET0027	NET0029	NET0030	NET0031	NET0032	NET0033	NET0034	NET0035
[-] Все цели											
[-] IO-NET											
[-] NET0026											
[-] NET0027											
[-] NET0029											
[-] NET0030											

Цели	Слои и регионы	IO-NET									
		Трек к:	СКП к:					СКП к:			
		Треку	СКП	ПО	ПКП	Заливке	Отв.	СКП	ПО	ПКП	Зали
[-] Все слои		1	0,8	0,8	0,9	1	0,4	0,8	0,8	1	1
[-] SIGNAL_1		1	0,8	0,8	0,8	1	0,4	0,8	0,8	1	1
[-] Region0		1	0,8	0,8	0,8	1	0,4	0,8	0,8	1	1
[-] Region1		1	0,8	0,8	0,8	1	0,4	0,8	0,8	1	1
[-] Region2		1	0,8	0,8	0,8	1	0,4	0,8	0,8	1	1
[-] SIGNAL_BO		1	0,8	0,8	0,9	1	0,4	0,8	0,8	1	1

Рис. 2. Определение правил зазоров между классом IO-NET и цепью Net0029

Цели	Слои и регионы	Набор пра...		Трек		Реальн...		Зауженный режим	
		Мин	Номинал	Мин	Номинал	Ширина	Длина общ.	М	
[-] Все слои		1	0,2	0,8			0,3	0,3	0,0
[-] SIGNAL_TO			0,2	0,8			0,3	0,3	0,0
[-] SIGNAL_BO			0,2	0,8			0,3	0,3	0,0
[-] IO-NET		2	1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0026			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0027			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0029			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0030			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0031			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0032			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0033			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0034			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0035			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0036			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0037			1	1			0,3	0,3	0,0
[-] NET0039			1	1			0,3	0,3	0,0

Рис. 3. Ведение «физических» правил

Общий  
Имя: Region2

Правила

- Влияет на зазоры:
- Изменяет правила:
- Влияет на физические:
- Влияет на правила тр:
- Для классов цепей:

Выделен 1 объект

Правила

Region2

Правила зазоров

Трек к:

- Треку: 0,2
- СКП: 0,25
- ПО: 0,25
- ПКП: 0,2
- Заливке: 0,25
- Отв.: 0,4

СКП к:

- СКП: 0,25
- ПО: 0,25
- ПКП: 0,25
- Заливке: 0,25

DRC К другим К себе

Рис. 4. Пример региона с определёнными правилами

Также в Delta Design возможно определение особых правил в локальной области. Для этого необходимо создать в редакторе платы регион (см. рис. 4). Регион является геометрической областью, расположенной на конкретном слое платы, или же он может быть «сквозным». Последнее означает, что регион с одинаковыми правилами существует одновременно в одинаковых границах на всех слоях платы.

Затем для региона необходимо задать, правила каких именно доменов в нём можно переопределять. Также конструктор может ограничить влияние региона конкретными классами цепей, указав их список (поля в синей рамке на рисунке 4). В этом случае правила, определённые в регионе, будут применяться только к печатным проводникам указанных классов цепей.

После этого можно задавать уже сами правила в общей для домена идеологии. При этом регион переопределяет правила для своего слоя. В примере на рисунке 4 в регионе указано изменение правил зазоров от трека к другому треку и планарной контактной площадке для всех цепей проекта.

Таким образом, комбинируя использование регионов и задание правил для слоёв и конкретных цепей, конструктор может решить любую задачу удобным для себя способом.

Перейдём к рассмотрению принципов работы САПР Delta Design, которые позволяют сократить временные затраты на ведение правил проекта. Это:

- предоставление различных способов ведения правил для проектов разной сложности;
- иерархичность ведения правил (правила задаются вначале для платы в целом, а затем уже уточняются для определённых цепей и слоёв);
- возможность использовать готовые наборы правил.

**Различные представления данных для проектов разного уровня сложности**

Рассмотрим, каким образом реализуется первый из указанных принципов на примере правил зазоров. Для других доменов принцип реализуется аналогично. Сам редактор правил проекта состоит из множества листов. В случае простого проекта конструктор

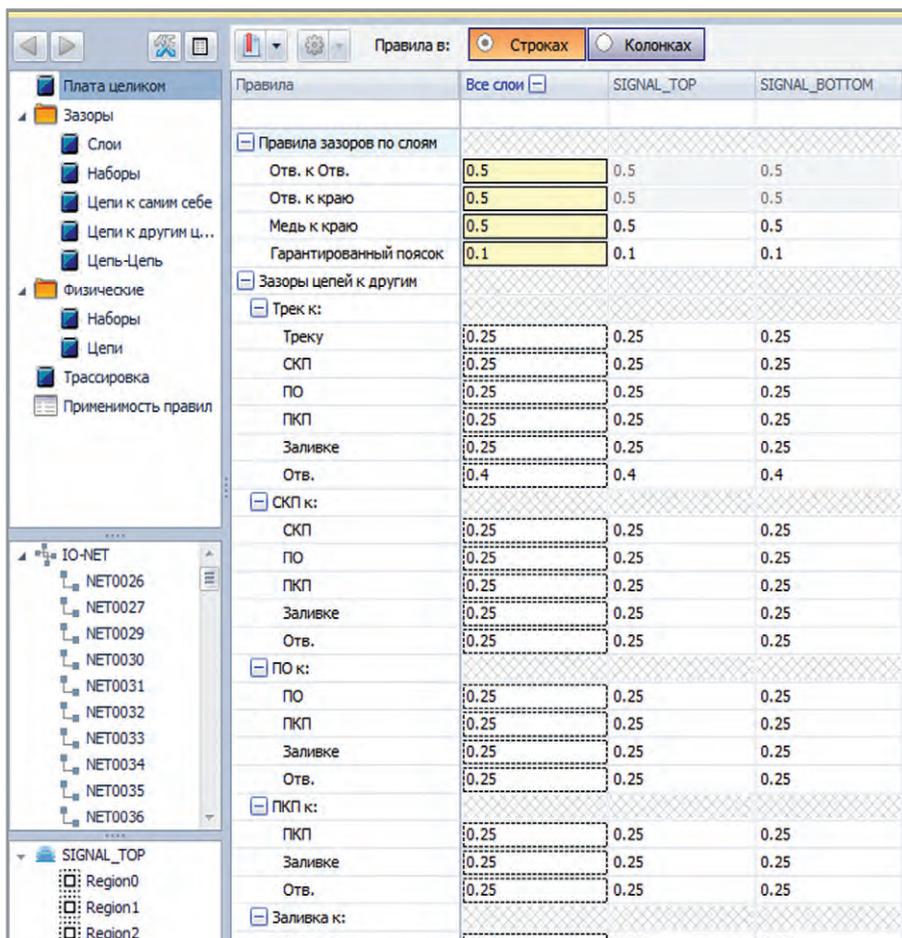


Рис. 5. Лист для задания параметров платы в целом

тор устанавливает правила с помощью первого из них (см. рис. 5).

Как мы видим, все правила зазоров на этом листе определяются для платы в целом или для конкретных её слоёв. Для простых проектов «более глубокое» управление зазорами может быть и не нужно.

В случае, если необходимо задать правила для конкретных цепей, к услугам пользователя листы «Цепь к самим себе» и «Цепь к другим цепям» (см. рис. 1). На этих листах данные уже можно определить для класса цепи или даже для конкретной цепи на конкретном слое.

Если и этого недостаточно, то конструктор переходит к листу «Цепь-цепь» (см. рис. 2) и может определить зазоры для конкретных пар цепей.

Важно, что данные, заданные на листе «Плата целиком» (см. рис. 5), сразу же отражаются на других листах и могут быть в них откорректированы. По сути, конструктор имеет единую модель данных зазоров и несколько визуальных представлений, созданных по принципу «от простого к сложному», для ввода и контроля данных.

### ИЕРАРХИЧНОСТЬ ВЕДЕНИЯ ПРАВИЛ

При задании правил важно сократить количество действий конструктора. Для этого в Delta Design используется принцип «перегрузки» правил на разных уровнях иерархии. Или, если говорить проще, изменения правил для конкретных объектов.

В проекте существует иерархия цепей и иерархия слоёв. Иерархия цепей включает классы цепей, дифференциальную пару и цепь. Иерархия слоёв состоит из слоёв и их классов. В обычной многослойной плате присутствует класс слоёв «Внутренние слои».

Для проекта всегда определены значения правил для всех слоёв и всех цепей платы. Конструктор может изменять их, а также может добавлять особые правила для участников иерархии ниже (и, соответственно, их «потомков» тоже). Таким образом, если конструктор определяет зазор для конкретного класса на всех слоях, то это же правило будет действовать для всех цепей этого класса.

Например (см. рис. 6):

- в проекте задан класс цепей Power, в состав которого входят цепи +5V, +2V и GND;

Цепи	Слои и регионы	Набор пра...	Трек к: Треку
	[-] Все слои		0,3
	[-] SIGNAL_TO		0,3
	[-] SIGNAL_BO		0,3
	[-] Все слои		0,8
[-] Power	[-] SIGNAL_TO		0,8
	[-] SIGNAL_BO		0,8
	[-] Все слои		0,8
[+] +2V	[-] SIGNAL_TO		0,8
	[-] SIGNAL_BO		0,8
	[-] Все слои		0,6
[+] +5V	[-] SIGNAL_TO		0,6
	[-] SIGNAL_BO		0,6
	[-] Все слои		0,6
[+] GND	[-] SIGNAL_TO		0,6
	[-] SIGNAL_BO		0,6
	[-] Все слои		0,3
[+] NET0003	[-] SIGNAL_TO		0,3
	[-] SIGNAL_BO		0,3
[+] NET0005	[+] Все слои		0,3

Рис. 6. Пример переопределения правил зазоров

- на уровне платы задано следующее правило – зазор цепей (трек к треку) 0,3 мм;
- для класса цепей Power значение этого правила переопределено как 0,8 мм, а для цепей +5V и GND – как 0,6 мм (на уровне отдельных цепей).

В результате все цепи платы, за исключением цепей из класса Power, должны быть реализованы треками с соблюдением зазора 0,3 мм. Цепь +2V должна быть реализована треками с соблюдением зазора 0,8 мм, цепи +5V и GND подлежат реализации треками с зазором 0,6 мм.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи мы рассмотрели, что умеет редактор правил системы Delta Design, основные принципы ведения правил и то, каким образом они реализованы на практике. Во второй части статьи мы рассмотрим:

- каким образом можно использовать уже готовые наборы правил и, что очень важно, как использовать данные из уже разработанных ранее проектов;
- интеграцию с другими редакторами в системе;
- дополнительные возможности редактора правил, облегчающие ввод данных и повышающие удобство работы.



# Преимущества трёхмерного моделирования при создании современных ПП

Данит Атар, Mentor Graphics

Перевод: Анна Сергеева

Проектирование современных печатных плат (ПП) требует создания достаточно сложных моделей с учётом специфики гибких и жёстко-гибких конструкций и непрерывной синхронизации с MCAD-системами. На смену плоским чертежам, которые неспособны справиться с подобными задачами, пришли технологии трёхмерного моделирования с расширенным спектром возможностей, которые делают процесс создания ПП максимально эффективным.

## ВВЕДЕНИЕ

К моменту передачи в производство модель платы должна быть максимально подготовлена и проработана, с соблюдением всех заявленных к проектированию требований. Это позволит избежать внеплановых исправлений на завершающих этапах проектирования, и, следовательно, значительно сэкономят время и деньги производителя.

На сегодняшний день использование трёхмерного моделирования позволяет сделать работу с создаваемой аппаратурой наиболее наглядной и удобной.

В частности, графическая трёхмерная модель помогает проектировщикам платы видеть проект полностью, лучше понимать его нюансы и контролировать корректность размещения и разводки компонентов на плате.

Кроме того, при создании плат, помещаемых внутрь корпуса, и особенно

при проектировании гибких конструкций, всегда необходимо обеспечивать определённые зазоры между компонентами и блоками. Для решения этих задач трёхмерное моделирование подходит как нельзя лучше.

Конечно, трёхмерное проектирование не отменяет необходимость взаимодействия с MCAD-инженерами. Тем не менее, такой подход качественно лучше и способен сократить цикл проектирования за счёт уменьшения числа итераций.

Рассмотрим более подробно ключевые возможности, которые даёт проектировщикам ПП трёхмерное моделирование.

## ПРОСМОТР, РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ

В процессе создания трёхмерных моделей наиболее наглядно видны все

критические места в конструкции ПП, так что инженеры могут использовать возможность оперативно вносить необходимые исправления и улучшения.

Отметим, что обнаружение проблемных зон на ранних стадиях проектирования помогает избежать дорогостоящих изменений, вносимых в последнюю минуту. Ещё дороже обойдутся дефекты, которые будут обнаружены группой MCAD-инженеров в уже готовом проекте или, что ещё хуже, на этапе производства.

Представление проекта ПП в виде трёхмерной модели даёт гораздо больше полезной информации, чем двумерные чертежи. На рисунке 1 видно, как будет выглядеть готовая конструкция.

Такое фотореалистичное изображение делает максимально удобным создание устройств с достаточно сложной структурой, поскольку визуально отслеживать потенциально проблемные места и обнаруживать конфликты с размещением и подключением элементов в создаваемой модели гораздо проще, чем при анализе двумерных плоских чертежей.

Также, при работе с трёхмерными моделями, можно удобно настраивать толщину плат, просматривать структуру отдельных взятых слоёв и масштабировать изображение по осям X, Y и Z (см. рис. 2).

Как мы видим, проектировщики и разработчики, которые имеют в своём распоряжении актуальные объёмные представления моделируемых ПП, могут оперативно выявлять все избыточные и недостаточные ограничения в их конструкциях. Соответственно, степень риска обнаружения дефектов после передачи модели в производство значительно снижается.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ

Стоит отметить, что некоторые инструменты проектирования поддерживают настраиваемые стратегии размещения компонентов. С их помощью инженеры добиваются умень-

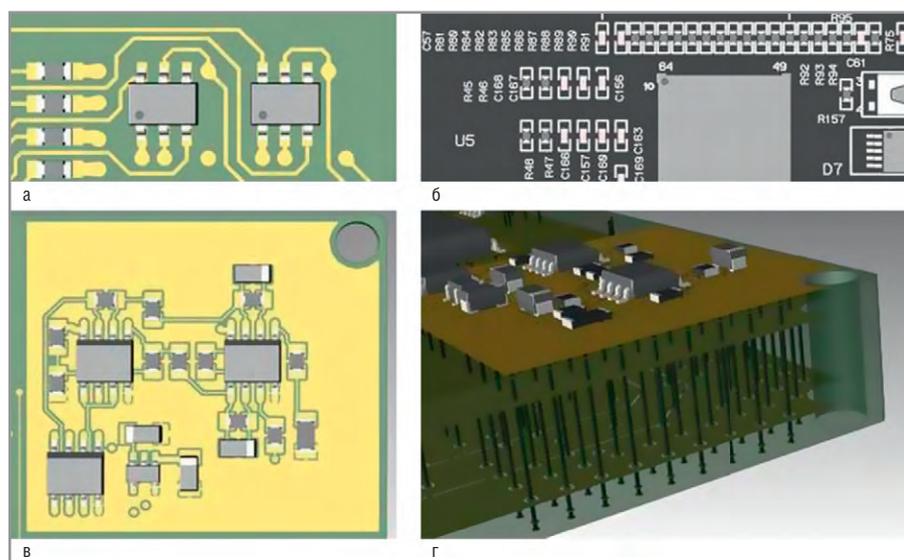


Рис. 1. Фотореалистичное изображение готовой конструкции на базе трёхмерной модели:

а – разводка контактов; б – шелкография и паяльная маска; в – медный слой; г – внутренние слои

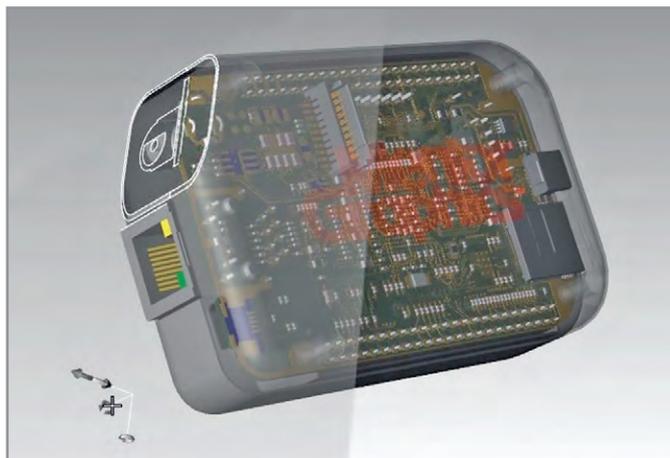


Рис. 2. Отображение модели ПП в системе координат X, Y и Z

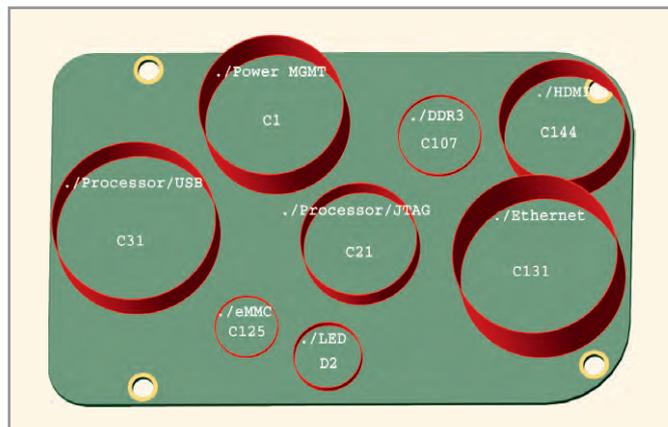


Рис. 3. Применение стратегии размещения трёхмерных групповых блоков компонентов в среде проектирования Xpedition

шения количества печатных слоёв и общих физических габаритов готовой аппаратуры.

Так, например, в профессиональной среде проектирования схем и ПП Xpedition от Mentor Graphics поддерживается стратегия моделирования на базе трёхмерных логических блоков компонентов (см. рис. 3). Компоновка по блокам позволяет схематично обозначить размещение всех нужных компонентов на плате и визуально

провести быструю оценку минимально необходимых габаритов платы.

Практика показывает, что данная стратегия является одной из наиболее удачных и эффективных.

**БЫСТРОЕ И УДОБНОЕ ДОБАВЛЕНИЕ ТРЁХМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Для полноценного трёхмерного проектирования, помимо имеющихся библиотек из минимальных стар-

товых наборов, необходимо создавать и использовать собственные компоненты. И если ранее, в плоском проектировании, инженеры использовали простые визарды создания компонентов и этого было вполне достаточно, то при переходе к объёмному моделированию начинается совсем другая история.

Как правило, приходится привлекать инженеров-механиков для отрисовки компонентов в таких CAD-системах, как Creo Parametric или SolidWorks. Резуль-

# GENESIS 64™




**64-битовая SCADA-система**

- Прекрасная визуализация на основе 2D- и 3D-графики
- Работа на любых устройствах, включая смартфоны и планшеты
- Встроенная поддержка ГИС-систем Bing, Google и Esri
- Поддержка систем видеонаблюдения
- Возможность конфигурирования инфопанелей непосредственно с мобильных устройств
- Сбор данных по OPC DA, OPC A&E, OPC HDA, OPC UA, BACnet, SNMP



**Откройте новую страницу в АСУ ТП вместе с GENESIS64!**

**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ICONICS**



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



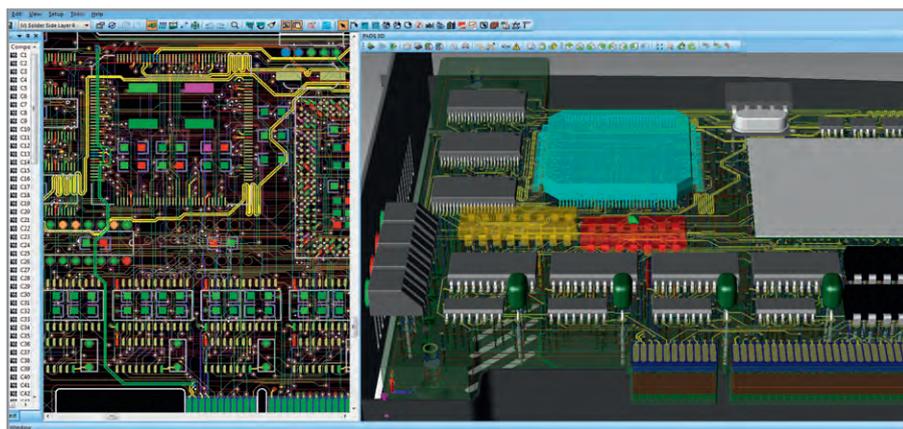


Рис. 4. Визуальное отслеживание соблюдения ограничений в рамках контроля правил проектирования

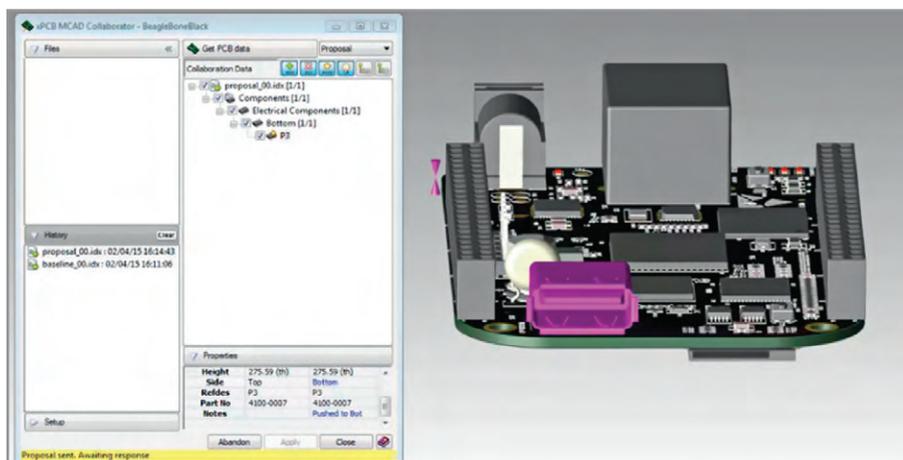


Рис. 5. Синхронизация работы проектировщиков и механиков в Xpedition за счёт интеграции ECAD- и MCAD-систем

татом их работы являются объёмные модели механических компонентов, экспортируемые в качестве внешних подключаемых библиотек.

Разумеется, решение подобных задач требует приобретения платных лицензируемых CAD-систем, а также умения инженеров работать с этими инструментами. Следует учитывать, что небольшим командам или индивидуальным проектировщикам ППП это не всегда доступно.

Но есть и более удобный способ. В качестве альтернативы можно применять готовые STEP-модели компонентов, доступные для загрузки с сайтов производителей. STEP-файлы импортируются в проект как внешние библиотеки, а содержащиеся в них модели компонентов уже готовы для быстрого подключения к общей разрабатываемой схеме.

### Задание и соблюдение ограничений по размещению компонентов

В процессе проектирования трёхмерных моделей очень важно обеспечивать

их соответствие заявленным требованиям к взаимному размещению компонентов. Для этого инженеры устанавливают ограничения на отступы между разъёмами плат, контактными площадками и всевозможными механическими элементами и контролируют соблюдение этих ограничений. Причём наиболее эффективным является подход, когда проектировщики ППП и механики применяют единые ограничения для всех создаваемых конструктивных элементов.

Подобные ограничения применяются при выполнении контроля правил проектирования (Design Rule Check, DRC), когда во время размещения компонентов на плате инженеры могут визуально отслеживать любые нарушения ограничений (см. рис. 4). Таким образом, обеспечивается непрерывное соблюдение всех механических требований, предъявляемых к разрабатываемому проекту.

### Эффективное взаимодействие с MCAD-системами

При организации взаимодействия систем автоматизированного проектирования электронной аппарату-

ры (ECAD) с системами проектирования механических компонентов (MCAD) возникают определённые трудности. В первую очередь, речь идёт об унификации форматов экспортируемых и импортируемых данных, а также о возможности как можно раньше обеспечить соответствие проектируемой модели механическим требованиям, чтобы минимизировать столь нежелательные изменения в проекте на завершающих стадиях.

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Не стоит недооценивать значимость вопроса унификации форматов данных. Многие компании до сих пор используют формат данных IDF (Intermediate Data Format) для передачи информации об электрических и механических системах. По сути, это набор статических файлов, подключаемых к базам данных.

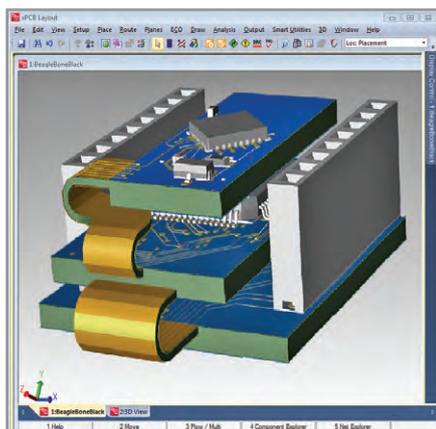
Такой подход значительно затрудняет идентификацию любых изменений в проекте и, как правило, требует значительных временных затрат на составление сопроводительной документации. Стоит ли говорить о том, что нехватка или потеря информации о ходе развития проекта приводит к замедлению темпов разработки и, как следствие, влияет на итоговые сроки завершения проекта.

Соответственно, преимущество за теми инструментами проектирования ППП, которые способны решать полный спектр упомянутых задач. Один из таких инструментов – программный пакет Xpedition от Mentor Graphics, обеспечивающий полную взаимную интеграцию ECAD- и MCAD-систем.

Среда разработки Xpedition включает специальный инструмент xPCB MCAD Collaborator (см. рис. 5) [1].

Это средство трёхмерного просмотра и редактирования моделей ППП во время их проектирования. С его помощью проектировщики могут учитывать механические требования с самого начала создания модели. Таким образом, модель платы будет лучше подготовлена, что важно при передаче механикам, и потребует гораздо меньшего количества доработок. Взаимодействие специалистов разных областей будет эффективным и займёт меньше времени.

Внедрение таких сред разработки, как Xpedition, позволяет проектировщикам электроники и инженерам-механикам полностью синхронизировать свою работу. Это значит, что наиболее критичные проблемы можно обнаружить и устранить на ранних



**Рис. 6. Фотореалистичное трёхмерное изображение сборочного чертежа ПП в среде проектирования Xpedition**

этапах разработки проекта, а некоторые проблемы вообще можно избежать в силу большей информированности специалистов о деталях и нюансах проекта. В конечном итоге, сроки разработки и финансовые затраты сокращаются, и на рынок выходит более надёжное и конкурентоспособное устройство.

**Наглядное проектирование гибких конструкций**

При создании гибких конструкций в работе проектировщиков ПП появляются дополнительные трудности.

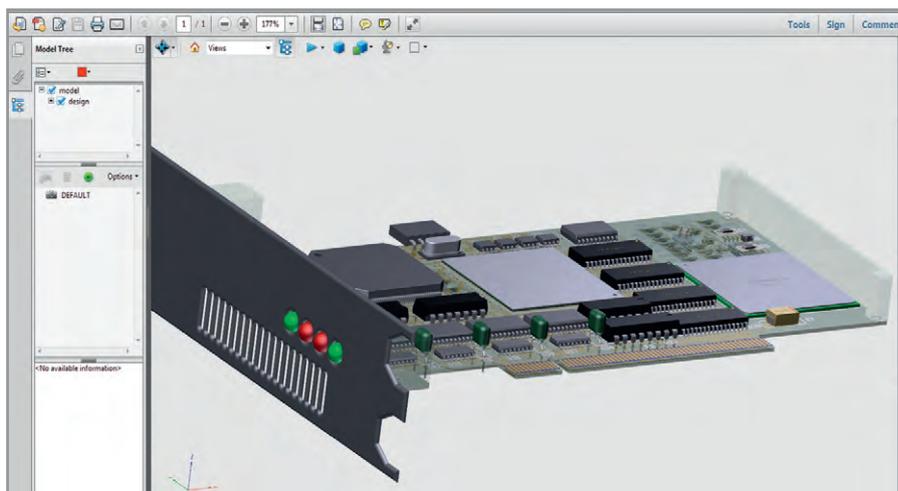
Так, добавляются ограничения на количество и структуру слоёв платы, трассировка может оказаться совершенно другой, и даже решение задач целостности передаваемых сигналов и обеспечения электропитания становится всё более и более сложным.

В процессе трёхмерного моделирования проектировщики могут визуально обнаруживать нежелательные перегибы конструкций, а также отслеживать, дотягиваются ли кабели до нужных разъёмов и, если нет, то насколько. На основании этой информации можно изменять местоположение тех или иных компонентов на плате или варьировать длину кабелей.

На рисунке 6 показана наглядная объёмная модель сборочного чертежа ПП в среде проектирования Xpedition.

**PDF-отчёты для ознакомления с создаваемым устройством**

Когда проектировщики создают модель ПП, они хорошо представляют контекст своей работы. При передаче завершённой модели в производство важно донести до производителей суть проекта максимально точно и нагляд-



**Рис. 7. Трёхмерный чертёж в формате PDF**

но. Конечно, на основе двумерных чертежей понять предназначение создаваемых плат достаточно трудно.

Для сравнения, трёхмерное изображение помогает производителям оценить сложность проекта и как можно раньше обнаружить потенциальные проблемы, которые могут появиться при производстве.

Здесь весьма полезным может оказаться возможность экспорта проекта в формат PDF-отчёта. Большинство инструментов разработки плат позволяют выполнять экспорт и в формат STEP, но не все из них поддерживают открытие и самостоятельную работу с STEP-файлами. Поэтому формат PDF является более универсальным.

Вообще, экспорт моделей плат в формат PDF может использоваться как для отчётности перед руководством проекта, так и для технического документирования. Однако, в первую очередь, это помогает производителям лучше понять суть проекта и принять во внимание все детали и нюансы при производстве физических ПП (см. рис. 7).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Инструменты проектирования ПП, поддерживающие технологию трёхмерного проектирования, предоставляют достаточно широкий спектр полезных возможностей.

Наглядное объёмное изображение помогает инженерам с самого начала лучше разобраться в деталях создаваемой аппаратуры и с точки зрения электрики, и с точки зрения механики. Также упрощается коммуникация между проектировщиками и механиками, их действия синхронизируются.

Профессиональная программная среда проектирования схем и ПП

Xpedition строит визуальное объёмное изображение модели создаваемой аппаратуры. По нему проектировщики могут точно представить, как будет выглядеть готовое изделие, и лучше разобраться в нюансах проекта.

Xpedition помогает инженерам и проектировщикам обнаруживать вероятные проблемы с размещением и подключением элементов на самых ранних этапах разработки проекта, что позволяет избежать накладных расходов.

Фотореалистичное объёмное изображение всех элементов платы существенно упрощает моделирование гибких конструкций.

Также Xpedition включает библиотеку трёхмерных моделей (более 4,8 млн компонентов). Это помогает обеспечить соответствие достаточно сложных проектов ПП жёстким требованиям к механическим конструкциям. Данная среда разработки поддерживает взаимодействие с MCAD-системами в масштабе реального времени, так что инженеры, работающие в ECAD и MCAD, могут согласовывать все изменения электрических и механических характеристик модели создаваемого устройства.

Всё это вместе делает процесс проектирования ПП максимально эффективным, и, в конечном счёте, позволяет выпустить на рынок надёжные и конкурентоспособные устройства более высокого качества.

Больше информации о расширенных возможностях трёхмерного проектирования в среде Xpedition можно найти на официальном сайте разработчика [2].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. [www.mentor.com/pcb/xpedition/mcad-collaboration](http://www.mentor.com/pcb/xpedition/mcad-collaboration).
2. [www.mentor.com/pcb](http://www.mentor.com/pcb).

# Новости мира News of the World Новости мира

## Технологии Hi-End в бюджетном классе

20 февраля 2017 г. в бизнес-центре «Павловский» состоялась пресс-конференция компании Rohde & Schwarz.

Основная идея мероприятия – были представлены приборы с Hi-End характеристиками, но в бюджетном исполнении.

На встречу с журналистами приехали Андреас Гримм и Филипп Вайгел. Их доклады, посвящённые новым приборам и технологиям, вызвали живой интерес у собравшихся. Презентации сопровождались вопросами из зала. Переводить и комментировать ответа зарубежным гостям помогали Кирилл Румянцев (руководитель направления «Анализаторы спектра») и Павел Струнин (руководитель направления «Осциллографы»).

После вступительного слова и рассказа об истории развития компании и тенденциях на рынке, докладчики перешли к самым новинкам...

### Осциллограф R&S RTB2000

Rohde & Schwarz расширяет свой растущий ассортимент осциллографов моделью R&S RTB2000, первым бюджетным осциллографом, предлагающим управление с помощью сенсорного экрана и обеспечивающим вертикальное разрешение 10 бит. Этот прибор предназначен для использования в образовательных целях, научно-исследовательских работах и на производстве.

Представленные осциллографы являются ТОП-ми моделями 2017 года. Все эти приборы объединяет «Сила десяти»: 10-битный АЦП, 10 млн отсчётов на канал, 10-дюймовый экран, 10 секунд – время запуска...

Серия осциллографов R&S RTB2000 может похвастаться впечатляющим 10,1-дюймовым ёмкостным сенсорным



экраном. Ёмкостное сенсорное управление играет большую роль для пользователей осциллографов, т.к. оно позволяет быстрее и эффективнее управлять прибором.

Осциллограф R&S RTB2000 оснащён 10-разрядным АЦП собственной разработки, дающим 1024 уровня по вертикали, т.е. разрешение в четыре раза выше, чем у любого другого осциллографа данного ценового сегмента.

Осциллографы R&S RTB2000 имеют лучший в отрасли объём памяти для сбора данных, составляющий 10 млн отсчётов на каждый канал осциллографа, и 20 млн отсчётов на канал в режиме чередования. Большие времена захвата помогают пользователям при тестировании и устранении неисправностей, обеспечивая дополнительное понимание работы электронных устройств. Более того, этот большой базовый объём памяти можно дополнительно расширить до 160 млн отсчётов сегментированной памяти.

Осциллографы серии R&S RTB2000 выпускаются в виде моделей с двумя и четырь-

мя каналами, а также полосами пропускания 70, 100, 200 и 300 МГц.

Доступен ряд опций расширения для повышения возможностей прибора, включая, например, 16 встроенных цифровых каналов и опции смешанных сигналов (MSO), набор опций синхронизации и декодирования протоколов для широкого ряда отраслевых стандартных шин, а также генератор сигналов произвольной формы и 4-битный генератор цифровых тестовых последовательностей.

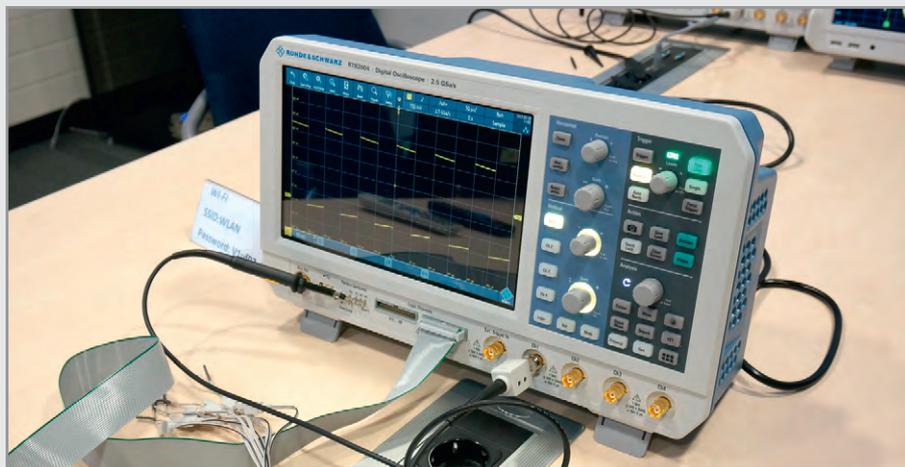
### Анализатор спектра начального класса R&S FPC1000

Компания Rohde & Schwarz представляет новый, разработанный в Германии, анализатор спектра начального класса R&S FPC1000.

В приборе реализована возможность гибкой модернизации с помощью программных ключей, он обладает прекрасными радиотехническими характеристиками, оснащён самым большим для своего класса дисплеем с высоким разрешением, а также оборудован встроенным Wi-Fi-интерфейсом для дистанционного управления с помощью мобильных приложений.

Базовая модель анализатора R&S FPC1000 охватывает диапазон частот от 5 кГц до 1 ГГц, который может быть расширен до 2 или 3 ГГц с помощью программных ключей. Это абсолютно новая возможность для приборов данного класса. Обновления могут приобретаться по мере необходимости. Необходимое опциональное расширение мгновенно устанавливается на прибор посредством ввода программного ключа. При этом, все действия могут быть выполнены пользователем на рабочем месте, без необходимости отправки прибора в сервисный центр для перекалибровки.

[www.rohde-schwarz.ru](http://www.rohde-schwarz.ru)



# interlight

MOSCOW

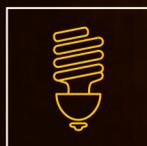
powered by light + building

Международная выставка декоративного  
и технического освещения, электротехники  
и автоматизации зданий

**7 - 10 ноября 2017**

ЦВК «Экспоцентр»

Москва



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)



messe frankfurt

# Путь к импортонезависимости

Алексей Медведев (Москва)

**В настоящее время многие российские компании вовлечены в решение задачи импортонезависимости, сформулированной президентом РФ В.В. Путиным. Понимать разницу между тотальным импортозамещением и импортонезависимостью крайне важно.**

*«Мы должны снять критическую зависимость от зарубежных технологий».*

**В. В. Путин**

## Задача импортонезависимости

Прежде всего отметим, что импортозамещение в буквальном понимании термина (разработка, организация производства отечественных аналогов импортируемых ныне микросхем с целью замещения в РЭА) невозможно и неприемлемо. Невозможность predetermined, в первую очередь, тем, что номенклатура нашего импорта разрослась до многих тысяч наименований. В тех редких случаях, когда аналог импортной схемы всё же создаётся, замещение практически невозможно, поскольку требуется проведение зачётных испытаний РЭА (для которой он проектировался), переработка технической документации, переоформление хозяйственных связей, получение дополнительного финансирования. Следует также учитывать, что некоторые импортные микросхемы мы технологически не в состоянии воспроизвести в разумные сроки. И всё же основное возражение против импортозамещения заключается в том, что отказ от микросхем зарубежного производства неприемлем, поскольку обрекает российскую радиоэлектронику на прогрессирующее отставание и даже утрату некоторых её направлений. Достаточно напомнить, что все наши суперкомпьютеры, входящие в мировой рейтинг TOP-500, используют исключительно импортные микропроцессоры, неподъёмные для отечественной микроэлектроники [1].

С учётом сказанного, импортозамещение, например, вполне возможно в производстве товаров народного потребления (мяса, сыра фруктов и т.п.). Термин «импортонезависимость» следует относить к наукоёмким технологиям. В нашем случае – к производству сложнейшей электро-

ники. То, что позволительно обычным людям, недопустимо для специалистов – радиоинженеров.

Под импортонезависимостью в статье понимается гарантированная полная защищённость жизненно важной аппаратуры (и её ЭКБ) и минимизация рисков для остальной аппаратуры (и её ЭКБ) в любых форс-мажорных ситуациях. К жизненно важной мы относим аппаратуру (и ЭКБ), отказы которой могут иметь катастрофические для страны последствия [1].

Далее речь пойдёт о возможных путях и реальных шагах, предпринимаемых производителями РЭА в направлении обеспечения независимости вычислительных модулей от зарубежных технологий и ограничений в поставках компонентов.

## Управляешь процессором – контролируешь процесс

Необходимость владения ключевыми технологиями может быть проиллюстрирована множеством примеров. В частности, широко известно использование так называемых «закладок» и незадекларированных возможностей в иностранных процессорах и вычислительных комплексах.

Один из самых известных случаев произошёл во время военной операции «Буря в пустыне», когда ни один иракский «Мираж» не взлетел по причине отказа навигационной системы. Данная система была выведена из строя на всех истребителях сразу всего лишь одним радиосигналом. Это просто было изначально заложено в конструкции.

Про вирусные программы в компьютерах и контроллерах иранской атомной программы тоже хорошо известно. Наиболее известен вирус Win32/Stuxnet, который был обнаружен не только на компьютерах рядовых поль-

зователей, но и в промышленных системах, управляющих автоматизированными производственными процессами на Бушерской АЭС.

Также в СМИ можно найти огромное количество информации об обнаруженных закладках в мобильных ЭВМ для жёстких условий эксплуатации.

Приведём некоторые примеры обнаруженных зловредного ПО, закладок и недекларированных возможностей микросхем, обнаруженных в импортных изделиях.

**Программа Computrace LoJack**, разработанная канадской фирмой Absolute Software. Программа посылает данные геолокации на удалённый сервер, имеет возможности удалённой блокировки компьютера и стирания информации с дисков по командам с серверов фирмы Absolute Software. Кроме этого возможен полный цикл удалённого менеджмента ноутбука, начиная с обновления БИОС, установки и удаления любых программ и кончая переустановкой ОС. Официальное предназначение программы – предотвращение утечки данных и использования ноутбука в случае его кражи или потери [2].

**Сетевые чипы Broadcom линейки BCM 57xx**. В этом чипе имеется собственная флэш-память (можно подключить и дополнительно внешнюю флэш-память на выделенном SPI-интерфейсе), собственная оперативная память, собственный RISC-процессор. Фактически это компьютер в компьютере, причём программы, прошитые внутри его флэш-памяти, выполняются как на собственном встроенном RISC-процессоре, так и на центральном процессоре вычислительной установки во время инициализации системы (расширенный БИОС на периферийных контроллерах).

Согласно документации, внутри микросхемы находится всего 16 Кбайт флэш-памяти, но на внешнем интерфейсе можно разместить дополнительно до 8 Мбайт программ и данных.

В связке с программой Computrace LoJack такой сетевой чип может всё что угодно [2].

**Intel Management Engine (ME)**. Подсистема, которая встроена во все современные компьютерные плат-

формы (десктопы, ноутбуки, серверы, планшеты) с чипсетами компании Intel. Intel ME является единственной средой исполнения, которая:

- работает даже тогда, когда компьютер выключен (но электропитание подаётся);
- имеет доступ ко всему содержимому оперативной памяти компьютера;
- имеет внеполосный доступ к сетевому интерфейсу.

Данная подсистема является аппаратно-программной основой для различных системных функций и технологий Intel. Их имплементация включается в состав прошивки Intel ME. Одной из таких технологий, использующих несколько особых привилегий Intel ME, является Active Management Technology (AMT).

AMT – технология удалённого администрирования компьютерных систем, для которых заявлена официальная поддержка Intel vPro. AMT предоставляет удалённый и внеполосный (по независимому вспомогательному каналу TCP/IP) доступ для управления настройками и безопасностью компьютера, независимо от состояния питания (удалённое включение/выключение компьютера) и ОС [3].

### Пути решения задачи импортонезависимости

Современный процессорный модуль состоит из нескольких сотен различных электронных компонентов и самых разных материалов. Вряд ли разумно уподобляться средневековым феодалам и пытаться воспроизвести всё разнообразие мировой электронной элементной базы на одной шестой части суши. Советский Союз уже пытался это сделать, но в условиях изоляции, отсутствия конкуренции и ограниченности внутреннего спроса такой подход приводит только к отставанию в технологиях и росту цен.

Глобализация мировой экономики продолжается. Из этого в контексте рассматриваемой темы можно сделать два вывода. Первый состоит в том, что ни одна национальная электроника, даже такой экономически мощной страны, как США, не может существовать и развиваться изолированно от мира. Второй вывод заключается в том, что полная изоляция и отстранение нашей страны от высших достижений в сфере электроники, наподобие того, как это было во время холодной войны, сегодня никому не под силу и контрпродуктивна.

Очевидно, что задача безопасности компьютерных систем и АСУ, ради решения которой и развёрнута борьба за импортонезависимость, не решается всеобщей заменой импортных резисторов и конденсаторов на российские с «двумя ручками». Для обеспечения импортонезависимости, вместо бездумной гонки за импортозамещением, следует вести работы по следующим ключевым направлениям:

- освоение в РФ ключевых технологий разработки и производства интегральных микросхем микропроцессоров, памяти, сетевых микроконтроллеров;
- организация закупок радиоэлектронных компонентов (РЭК) по множеству независимых каналов;
- разработка и производство одноплатных компьютеров в РФ;
- создание российских ОС и прикладного ПО.

Особенно важен первый пункт в части производства, т.к. ни чистого кремния, ни химикатов, ни даже дистиллированной воды необходимой степени очистки в РФ пока не производится в промышленных масштабах.

И если с последними тремя пунктами успешно справляются частные предприятия, то для решения первой задачи нужна государственная програм-

ма по воссозданию соответствующих производств.

### Разработка микропроцессоров в РФ – текущая ситуация

Как ни удивительно, но разработка микропроцессоров в РФ на фоне торжества импорта не умерла. Вот краткий список фирм-разработчиков и результатов их деятельности:

- МЦСТ (1891ВМ8Я, Эльбрус 4С, 65 нм, 800 МГц);
- Миландр (1986ВЕ92, ARM Cortex М3, 65 нм, 80 МГц);
- Элвис (1892ВМ14, ARM Cortex А9, 40 нм, 900 МГц);
- Байкал Электроникс (Байкал-Т, MIPS, 28 нм, 1 ГГц);
- НИИСИ РАН (1890ВМ8Я, Комдив64, 65 нм, 800 МГц).

С точки зрения современности архитектуры, технологии производства и производительности, наиболее интересными для большинства потребителей являются ИМС Эльбрус 4С и Байкал-Т1. Для встраиваемых применений, где крайне важными являются параметры энергопотребления, больше подходит Байкал-Т1. Для спецвычислений, работы по быстрым алгоритмам и верхних уровней АСУ больше подходит Эльбрус 4С.

Хочется верить, что успехи производства современных отечественных процессоров послужат основой для постепенного возрождения российской радиоэлектроники и восстановления других наукоёмких отраслей отечественной промышленности.

### Литература

1. Носов Ю., Сметанов А. Крепить импорто-независимость страны! Электроника: НТБ. 2014. №8. С. 154–155.
2. [www.securitylab.ru/contest/430512.php](http://www.securitylab.ru/contest/430512.php).
3. [www.habrahabr.ru/company/dsec/blog/282546/](http://www.habrahabr.ru/company/dsec/blog/282546/).



## Новости мира News of the World Новости мира

### Технологическая независимость обойдётся Китаю в \$300 млрд

Правительство Китая собирается выстроить собственную вертикаль технологического развития, чтобы снизить зависимость от западных технологий или вообще её устранить. Для этого, как пишет New York Times, власти Поднебесной разработали план под

названием «Сделано в Китае 2025». Это долгосрочная стратегия развития, которая будет опираться на значительные финансовые ресурсы – речь идёт о сумме в \$300 млрд.

Подобные планы пугают западных вендоров. Дело в том, что глобальные корпорации из Китая уже давно поддерживаются правительством этой страны. В качестве примера можно привести государственный кон-

гломерат Tsinghua Unigroup. В январе прошлого года он озвучил планы стать третьим в мире по величине производителем чипов. Программа финансирования рассчитана на пять лет, сумма – \$42,6 млрд.

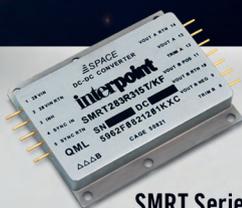
Иностранные компании в Китае окажутся в неравных условиях конкурентной борьбы и, скорее всего, потерпят поражение.

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

# Надёжные ИСТОЧНИКИ – успех МИССИИ В КОСМОСЕ



БЕЗЛИЦЕНЗИОННАЯ ПОСТАВКА\*



SMRT Series™



SLH Series™



SMTR Series™



MFP Series™

## Продукция Interpoint® уровня качества Space

- Высоконадёжные DC/DC-преобразователи и помехоподавляющие фильтры
- Восемь серий DC/DC-преобразователей с диапазоном мощностей от 1,5 до 100 Вт
- Диапазоны входных напряжений: 16–40 В (SMTR-серия, SLH-серия), 19–56 В (SMRT-серия) и 3–6 В (MFP-серия)
- Одно-, двух- и трёхканальные модели с различными комбинациями напряжений: 3,3; 5; 5,2; 12; 15 В
- Обширный набор сервисных функций и защит
- Высокая удельная мощность
- Уровень дозовой стойкости 30, 50 и 100 крад
- Стойкость к воздействию заряженных частиц с ЛПЭ до 86 МэВ·см<sup>2</sup>/мг
- Технические и эксплуатационные параметры соответствуют Standard Microcircuit Drawings (SMD), утверждённым Агентством материально-технического снабжения МО США (Defense Logistics Agency – DLA)



Interpoint®

\* Модели DC/DC-преобразователей с суммарной накопленной дозой 30 и 50 крад поставляются без оформления лицензии на поставку

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР CRANE AEROSPACE & ELECTRONICS В РОССИИ

PROSOFT®

МОСКВА Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru  
С.-ПЕТЕРБУРГ Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru  
ЕКАТЕРИНБУРГ Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru



Реклама

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ  
ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ



# СВЯЗЬ

Информационные и коммуникационные  
технологии

25–28 апреля 2017

29-я международная  
выставка

При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства связи и массовых коммуникаций РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ
- Федерального агентства связи (Россвязь)
- Российской ассоциации электронных коммуникаций (РАЭК)

Под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ

[www.sviaz-expo.ru](http://www.sviaz-expo.ru)

Организатор:

 **ЭКСПОЦЕНТР**  
МОСКВА

Реклама



12+





Реклама

VI ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

« ЭМС »

18-19 МАЯ 2017

**Сроки и место проведения:**

18-19 мая 2017 года  
Парк-отель «Свежий ветер»

**Участие в конференции\*:**

Для участия необходимо направить заявку  
в Организационный комитет до 12.05.2017 г.

**Организационный комитет:**

Телефон/факс: (495) 657-87-37  
E-mail: [tp@test-expert.ru](mailto:tp@test-expert.ru)

\* Участие в конференции платное. За подробной  
информацией о программе конференции, пожалуйста,  
обращайтесь в Организационный комитет.

**К ОБСУЖДЕНИЮ ПРЕДЛАГАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ВОПРОСЫ:**

- Испытания радиоэлектронного оборудования на ЭМС.
- Виды помех в БС ЛА и способы борьбы с ними.
- Защита РЭА от ЭМИ.
- Оборудование для испытаний на ЭМС.
- Нормативно-правовая база испытаний ТС на ЭМС.
- Учет требований заказчиков при испытаниях.
- Метрологическое обеспечение испытаний в области ЭМС.
- Аттестация ИО, применяемого при оценке соответствия оборонной продукции.
- Вопросы конструирования радиоэлектронной аппаратуры с учетом требований ЭМС.

