

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

6  
2015



## В номере:

- Моделирование новой бета-вольтаики на LPE i-GaAs
- Оптимизация производства отечественного сапфира
- Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices
- Обеспечение радиационной стойкости МОП-транзисторов
- Матричные системы электропитания для технологий АФАР
- Российская электроника: импортозамещение и перспективы  
и многое другое

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



App Store



Google Play

А-ПРЕСС





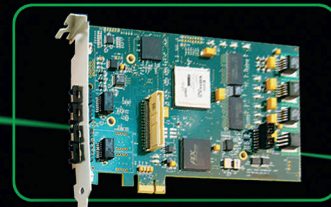
Great River  
Technology

Advanced Video and Data Systems

## Мировой лидер в разработке систем на основе стандарта ARINC 818 — базового стандарта Интегрированной Модульной Авионики

### GRT предлагает следующие решения:

- Платы захвата кадра и генераторы видеосигнала
- Отдельно устанавливаемые высокоскоростные модули генерации сигнала
- Модули преобразования видеосигнала в защищенном исполнении
- Системы записи и воспроизведения
- Коммутаторы



ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР GREAT RIVER TECHNOLOGY



«Фаворит – Электронная Компания»

WWW.FAVORIT-EC.RU тел./факс: +7(495) 627-76-24, г. Москва

Фаворит – ЭК  
Республика Беларусь, г. Минск  
Тел.: +375 (17) 207-01-85  
info@favorit-ec.ru

Фаворит – ЭК  
Санкт-Петербург  
Тел.: +7 (812) 449-52-41  
www.spbnek.ru • spb@favorit-ec.ru

Фаворит – ЭК  
г. Нижний Новгород  
Тел.: +7 (910) 886-80-60  
alexandra@favorit-ec.ru



# ВЧ-СВЧ КОМПОНЕНТЫ

## от официального дистрибьютора ЮЕ-Интернейшнл

**Mini-Circuits**



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

- Адаптеры
- Атенюаторы
- ВЧ Кабели
- ВЧ Трансформаторы
- Детекторы мощности
- Делители/смесители
- Инжекторы смещения
- Модуляторы
- Нагрузки
- Ответвители
- ГУНЫ
- Переключатели
- Сенсоры мощности
- Синтезаторы
- Смесители частоты
- Умножители частоты
- Усилители
- Фазовращатели
- Фазовые детекторы



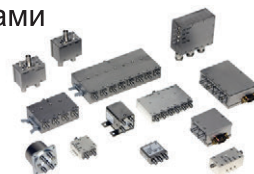
**JFW Industries**



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

Пассивные ВЧ-СВЧ компоненты с коаксиальными разъемами

- Атенюаторы
- Нагрузки
- СВЧ переключатели
- Делители мощности
- Системы для тестирования беспроводной связи



**Microsemi**



**Microsemi**

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

ВЧ-СВЧ полупроводники

- Мощные транзисторы для радиолокации и авионики (Si, SiC, GaN)
- Согласованные транзисторные сборки
- Диоды
- Усилители



**Florida RF Labs**

**и EMC Technologies**



[www.emc-rflabs.com](http://www.emc-rflabs.com)

- Thermopad® Атенюаторы с коэффициентом передачи, зависящим от температуры, для термостабилизации усилителей
- Атенюаторы
- Резисторы
- Согласованные нагрузки
- Коаксиальные кабельные сборки
- HybriX® – ответвители, делители
- Компоненты для специальных применений
- Коаксиальные кабельные сборки
  - Измерительные коаксиальные кабельные сборки
  - Кабели для тестовых портов VNA
  - Высоконадежные коаксиальные кабельные сборки для спецприменений



**Maury Microwave**



**Maury Microwave**

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

Комплексные решения для тестирования и характеристики полупроводников

- Наборы для калибровки векторных анализаторов цепей
- Прецизионные метрологические компоненты
- Тюнеры импеданса
- Системы для характеристики параметров СВЧ устройств
- ПО IVCAD для измерения и моделирования СВЧ устройств



**ЮЕ-Интернейшнл**

ФИНЛЯНДИЯ ЭСТОНИЯ ЛАТВИЯ ЛИТВА РОССИЯ

Реклама

С-Петербург (812) 313-34-40

Москва (495) 783-96-62  
Н. Новгород (831) 220-59-64

Новосибирск (383) 319-17-09  
Екатеринбург (343) 365-90-40

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



## Главный редактор

Алексей Смирнов

## Заместитель главного редактора

Александр Хлынов

## Редакционная коллегия

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

## Литературный редактор

Ольга Семёнова

## Вёрстка

Марина Петрова

## Обложка

Дмитрий Юсим

## Распространение

Ирина Лобанова  
(info@soel.ru)

## Реклама

Ирина Савина  
(advert@soel.ru)

## Издательство «СТА-ПРЕСС»

Директор Константин Седов  
Почтовый адрес:  
119313, Москва, а/я 26  
Телефон: (495) 232-0087  
Факс: (495) 232-1653  
Сайт: www.soel.ru  
E-mail: info@soel.ru



Производственно-практический журнал  
Выходит 9 раз в год  
Тираж 10 000 экземпляров  
Журнал зарегистрирован в Федеральной службе  
по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия  
(свидетельство ПИ № ФС77-18792  
от 28 октября 2004 года)  
Свидетельство № 00271-000  
о внесении в Реестр надёжных партнёров  
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации  
Цена договорная

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

Перепечатка материалов допускается только  
с письменного разрешения редакции.  
Ответственность за содержание рекламы  
несут рекламодатели.  
Ответственность за содержание статей  
несут авторы.  
Материалы, переданные редакции,  
не рецензируются и не возвращаются.  
© СТА-ПРЕСС, 2015

# 6/2015 Contents

## MARKET

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

## MODERN TECHNOLOGIES

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| New Beta Voltaic Modeling on LPE i-GaAs Single Crystals .....                                                 | 10 |
| <i>Victor Voytovych, Aleksandr Gordeev, Anatoliy Dumanovich</i>                                               |    |
| Trends in the Development of Aerospace Power Systems with Laser Energy<br>Transmission Channels. Part 2 ..... | 18 |
| <i>Aleksandr Sigov, Vladimir Matyukhin, Vladimir Lukin</i>                                                    |    |
| Domestic Production Sapphire Optimization .....                                                               | 24 |
| <i>Sergey Malyukov, Julia Klunnikova</i>                                                                      |    |

## ELEMENTS AND COMPONENTS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Development of Low-Temperature Analog Integrated Circuits for the Sensor<br>Impulse Signal Processing. Part 3 ..... | 34 |
| <i>Oleg Dvornikov, Vladimir Chehovskiy, Valentin Dyatlov, Nikolay Prokopenko</i>                                    |    |
| Analog Devices's Modern MEMS Products. Part 1 .....                                                                 | 40 |
| <i>Yuriy Petropavlovskiy</i>                                                                                        |    |
| New Products in Philips Lumileds Company's Line:<br>SuperBright LEDs .....                                          | 46 |
| <i>Andrey Turkin</i>                                                                                                |    |
| Power MOSFET Radiation Hardness: Single Event<br>Effects Review .....                                               | 54 |
| <i>Aleksey Sokolov</i>                                                                                              |    |

## DEVICES AND SYSTEMS

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Matrix Power Supply Systems – a New Stage of AESA Technology Development .....                 | 62 |
| <i>Aleksandr Goncharov</i>                                                                     |    |
| Russian DC/DC-Converters for Critical Applications<br>from «Arbelos» .....                     | 66 |
| <i>Mikhail Nikitin</i>                                                                         |    |
| The Prospects of Creating FODMS for Determining Motion Parameters<br>of Large Bench .....      | 70 |
| <i>Tatiana Murashkina, Elena Badeyeva, Kirill Serebryakov, Aleksandr Udalov, Anna Fedotova</i> |    |

## ENGINEERING SOLUTIONS

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Switching Power Supply with Stabilized Output<br>and Low Ripple. Part 3 ..... | 76 |
| <i>Aleksey Kuzminov</i>                                                       |    |

## DESIGN AND SIMULATION

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Basics of Noise Measurement in Radio and Microwave<br>Frequency Ranges. Part 2 ..... | 86 |
| <i>Maksim Sokovishin</i>                                                             |    |
| Co-design with OrCAD Engineering Data Management .....                               | 92 |
| <i>Anatoliy Sergeev</i>                                                              |    |

## EVENTS

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Russian Electronics: Import Substitution and Development Prospects .....   | 96  |
| «Sviaz-Expocomm-2015» and the First Big<br>Media-Communication Forum ..... | 100 |



# Содержание 6/2015

## РЫНОК

- 4 Новости российского рынка

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 10 Моделирование новой бета-вольтаики на монокристаллах LPE i-GaAs  
*Виктор Войтович, Александр Гордеев, Анатолий Думаневич*
- 18 Тенденции развития аэрокосмических энергетических систем с лазерными каналами передачи энергии. Часть 2  
*Александр Сигов, Владимир Матюхин, Владимир Лукин*
- 24 Оптимизация производства отечественного сапфира  
*Сергей Малюков, Юлия Клунникова*

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 34 Создание низкотемпературных аналоговых ИС для обработки импульсных сигналов датчиков. Часть 3  
*Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов, Николай Прокопенко*
- 40 Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices. Часть 1  
*Юрий Петропавловский*
- 46 Новые продукты в линейке компании Philips Lumileds: сверхъяркие светодиоды  
*Андрей Туркин*
- 54 Обеспечение радиационной стойкости МОП-транзисторов: влияние одиночных эффектов  
*Алексей Соколов*

## ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 62 Матричные системы электропитания – новый этап развития технологий АФАР  
*Александр Гончаров*
- 66 Российские DC/DC-преобразователи от НПП «Арбелос» для ответственных применений  
*Михаил Никитин*
- 70 Перспективы создания ВОИИС для определения параметров движения крупногабаритных стенов  
*Татьяна Мурашкина, Елена Бадеева, Кирилл Серебряков, Александр Удалов, Анна Федотова*

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 76 Импульсный ИП со стабилизированным выходом и низким уровнем пульсаций. Часть 3  
*Алексей Кузьминов*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 86 Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах. Часть 2  
*Максим Соколов*
- 92 Групповая разработка проектов в OrCAD Engineering Data Management  
*Анатолий Сергеев*

## СОБЫТИЯ

- 96 Российская электроника: импортозамещение и перспективы развития
- 100 «Связь-Экспокомм-2015» и Первый Большой Медиа-Коммуникационный Форум

## Электронная версия для мобильных устройств

Бесплатное **приложение** «Современная электроника» появилось в **Google Play** для пользователей устройств на платформе Android (в разделе «Приложения/Бизнес») и доступно в **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. При просмотре номера читатели для более удобной навигации могут воспользоваться гиперссылками, встроенными в содержание и в рекламные блоки. С выпуском этого приложения у читателей появилась возможность иметь доступ к журналу «Современная электроника», где бы они ни находились: на рабочем месте, по дороге домой, в парке, дома, в поездках. Устанавливайте приложение и читайте журнал «Современная электроника» с экрана своих мобильных устройств!

## ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА

### Преимущества:

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

### «Роспечать»

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

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

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

### «Урал-Пресс»

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

### Читатели из дальнего зарубежья

могут оформить подписку через агентство

### «МК-Периодика»

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

## Новости российского рынка

### РЫНОК

#### Прямые поставки электронных компонентов из Тайваня

Компания Юнист Групп, тайваньский производитель и дистрибьютор, начинает поставки электронных компонентов на российский рынок.

Главный офис компании находится на Тайване, что позволяет оптимизировать поставки, предлагая обширную номенклатуру товаров, высокое качество и непрерывный технический контроль на всех этапах производства.

Компания также занимается контрактным производством по изготовлению ком-

понентов и печатных плат различной сложности в соответствии с техническим заданием заказчика.

Уже более 20 лет компания осуществляет комплексные поставки тайваньской продукции от ведущих производителей в страны Европы, Северной и Южной Америки.

Заказчики оценили преимущества сотрудничества с Юнист Групп:

- поиск и комплексные поставки необходимых компонентов с учётом требований цены и качества;
- разнообразие вариантов решений, включая разработку необходимых компонентов;

- в кратчайшие сроки обеспечиваются поставки как для серийного производства, так и небольшими партиями;
- вся продукция соответствует высоким международным стандартам качества, что подтверждается сертификатами.

Сделать запрос или получить дополнительную информацию о товарах и услугах можно у специалистов компании Юнист Групп.

[www.unist.com.tw](http://www.unist.com.tw)  
[info@unist.com.tw](mailto:info@unist.com.tw);  
[Inna.Shabunina@unist.com.tw](mailto:Inna.Shabunina@unist.com.tw)



### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### Современное производство электроники: материалы и печатные платы на металлических основаниях

В последние годы наблюдается стремительное развитие рынка производств электронных изделий, немалую долю в котором занимают устройства с использованием различных светодиодов. Главную роль в этом играет политика максимального энергосбережения ресурсов, что, соответственно, влечёт за собой необходимость разработки экономичных систем освещения, а также сопутствующих им товаров.

Компания Csem Ltd. является одним из мировых лидеров по разработке и производству ламинатов на металлических основаниях, а также производству алюминиевых печатных плат (MCPCB), используемых для выпуска оборудования на базе светодиодов,

автоэлектроники, источников питания, контроллеров, ПК, реле, выключателей и самых разнообразных систем связи.

Компания была учреждена на Тайване в 1999 году и практически со дня основания занимает первые позиции на рынке материалов на металлических основаниях. В 2009 году команда разработчиков Csem Ltd. начала тесное сотрудничество с компанией HITACHI Chemical и выпустила несколько совместных продуктов, которые с 2011 года запущены в массовое производство. Материалы, выпускаемые компанией Csem Ltd., используются такими известными производителями, как: Samsung, LG, Philips, Osram, Hyundai mobis и др.

Структура основной серии ламинатов CS-AL-88/89, выпускаемых Csem Ltd. состоит из трёх слоёв:

- медная фольга толщиной 0,018...0,175 мм;



- теплоустойчивый и теплопроводный диэлектрический материал, применяющийся для скрепления фольги с металлическим основанием (толщина материала варьируется в пределах 0,06...0,2 мм);
- металлическое основание: алюминий, медь, железо или другие металлы.

Позиция руководства Csem Ltd. – это непрерывное стремление к мировому лидерству на рынке разработки и производства фольгированных материалов, а также постоянное улучшение качества обслуживания клиентов за счёт сокращения сроков производства.

Более подробную информацию по представленному бренду можно получить у специалистов компании «ЭлектТрейд-М».

[www.eltm.ru](http://www.eltm.ru)  
 Тел.: (499) 218-2360

### ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

#### A818 Xf Tuner: универсальный генератор протокола ARINC 818 от Great River Technology

В июне этого года выходит новая разработка компании Great River Technology в линейке инструментов для создания комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики в стандартах ARINC 818.

Xf Tuner представляет собой универсальный генератор протокола ARINC 818. По существу, данное решение является долгожданным дополнением к уже поставляемому GRT на российский рынок анализатору протокола ARINC 818. Если анализатор ARINC 818 выполняет достоверный анализ получаемых данных и, как правило, используется для разработки передатчиков, то Xf Tuner является уникальным инструментом для раз-

работки приёмников ARINC 818 в дисплеях, бортовых самописцах и коммутаторах.

Xf Tuner позволяет решать задачи: создания ICD (профиля ARINC 818); разработки дисплеев; тестирования устойчивости; проведения квалификационных испытаний.

A818 Xf Tuner быстро настраивает протокол ARINC 818 в режиме реального времени и легко инжектирует ошибки в поток ARINC 818 с помощью интуитивно понятного графического интерфейса.

Xf Tuner позволяет быстро задать соответствие практически любому профилю ARINC 818 (ICD, Interface Control Document).

Для получения желаемого протокола и временных параметров, пользователь определяет параметры изображения, такие как разрешение, параметры пикселя и частота кадров. Получившиеся в резуль-

тате параметры синхронизации протокола ARINC 818 будут отображаться на экране программы (GUI) и передаваться на выходной порт ARINC 818.

В графическом виде показываются все критические временные параметры передаваемого протокола ARINC 818. В режиме реального времени может проводиться регулировка таких параметров ARINC 818, как частота строк и кадров. A818 Xf передаёт любое тестовое растровое изображение и автоматически задаёт его размер в соответствии с параметрами заданного протокола.

Xf Tuner позволяет создать профиль и сохранить его, а подгружая любые предыдущие, перепрограммировать карту на работу в соответствии с этим профилем в течение 1 минуты.

Техническое описание можно найти на сайте <http://www.favorit-ec.ru/>



## Новости российского рынка

### Новинки отладочного комплекта HELPER

Если обратить внимание на большинство отладочных платформ, может показаться, что в каждой реализации присутствует много общего. Например, если устройство имеет Ethernet или USB-интерфейсы, то на отладочном комплекте должны присутствовать соответствующие разъёмы. То же самое касается таких общих элементов, как дисплеи, светодиоды, кнопки или устройства звуковой индикации. В любом случае, при приобретении нескольких отладочных средств потребитель вынужден оплачивать и эту, казалось бы, стандартную для большинства средств периферию.

Несколько другим путём пошла компания LDM-SYSTEMS. Изначально отладочный комплект делится на три существенные категории:

1. Main Board – это «Базовые платы», содержащие в себе набор периферийных устройств ввода-вывода информации, устройств визуальной или аудио-индикации, а также различных органов управления;
2. Master-модули – это «Ведущие платы», содержащие в себе программно-ориентированный компонент в виде МК/МП или ПЛИС. Master-модули построены таким образом, что уже содержат в себе все необходимые элементы для взаимодействия как с другими модулями, так и с простейшими устройствами ввода-вывода информации. Для ознакомления со спецификой работы установленного программно-ориентированного элемента наличие «Базовой платы» или каких-либо других модулей не является обязательным;
3. Slave Module – это «Ведомые платы», содержащие в себе элементы, в значительной мере расширяющие функциональность отладочного комплекта.

Помимо этого, важной отличительной особенностью HELPER является надёжное механическое крепление составных частей отладочного комплекта, позволяющее без снижения надёжности размещать вертикально множество модулей, получая, таким образом, функциональ-

но-законченные конструкции самого различного назначения.

*На данный момент серийно выпускаются:*

- **LDM-HELPER-MB501** – «Базовая плата» среднего уровня сложности, имеющая в своём составе наиболее часто применяемые на практике интерфейсы, а также элементы ввода-вывода информации. На рисунке 1 представлена «Базовая плата» LDM-HELPER-MB501-FULL в полной комплектации.
- **LDM-HELPER-K1986BE1QI** – Master-модуль, выполненный на базе микроконтроллера K1986BE1QI компании ЗАО «ПМК Миландр», получивший красивое и запоминающееся название «Авиационник» за наличие специфичных интерфейсов, используемых как в бортовом, так и наземном оборудовании авиационных служб гражданского и специального назначения.
- **LDM-HELPER-MCp042R** – Master-модуль, выполненный на базе микропроцессора MCp042R100102-1-LQ256I компании ОАО «Мультиклет» и имеющий принципиально новую архитектуру, позволяющую добиться наиболее приемлемого соотношения между производительностью и потребляемой мощностью.

*Новинки 2015 года!*

- **LDM-HELPER-K1986BE21QI** – Master-модуль, выполненный на базе микроконтроллера K1986BE21QI компании ЗАО «ПМК Миландр». Он предназначен для применения в приборах учёта электроэнергии. Микроконтроллер построен на платформе 1986BE9x, способен работать от напряжения 1,25 В, содержит 7-канальный 24-битный сигма-дельта АЦП с выходной частотой отсчётов до 4 кГц с независимым каналом DMA. Также для коммутационных задач реализован блок аппаратного вычисления CRC блока данных.

На плате модуля из дополнительной периферии присутствуют:

- USB/UART-преобразователь для возможности загрузки ПО, используя внутренний UART-загрузчик;



- микросхема ENC28J60 для сопряжения микроконтроллера по Ethernet 10 Мбит/с;
- приёмопередатчик интерфейса RS-485;
- кнопки и светодиоды.

LDM-HELPER-K1986BE21QI может работать в составе «Базовой платы» или применяться как встраиваемый модуль. На рисунке 2 показан внешний вид этого модуля.

- **LDM-HELPER-K1986BE92QI** – Master-модуль, выполненный на базе микроконтроллера K1986BE92QI компании ЗАО «ПМК Миландр». На рисунке 3 показан внешний вид представленного модуля.

Эта микросхема чаще всего позиционируется как «Универсальный микроконтроллер общего назначения». Ранее компанией LDM-SYSTEMS уже было выпущено отдельное отладочное средство LDM-K1986BE92QI, пользующееся популярностью у самых различных категорий потребителей – от физических лиц до компаний гражданского и специального секторов.

На плате модуля из дополнительной периферии присутствуют:

- USB/UART-преобразователь для возможности загрузки ПО, используя внутренний UART-загрузчик;
- микросхема ENC28J60 или ENC624J600 для сопряжения микроконтроллера по Ethernet и скоростью 10 Мбит/с или 10/100 Мбит/с, соответственно;
- приёмопередатчик интерфейса RS-485;
- I/O экспандер;
- кнопки и светодиоды.

Помимо этого, на модуле, как и на плате предыдущего отладочного комплекта, присутствует опциональная возможность установки микросхемы в металлокерамическом корпусе.

LDM-HELPER-K1986BE92QI может работать в составе «Базовой платы» или применяться как встраиваемый модуль.

В дальнейшем к выпуску планируется множество различных плат к системе **HELPER** – следите за новостями сайта [www.ldm-systems.ru](http://www.ldm-systems.ru).

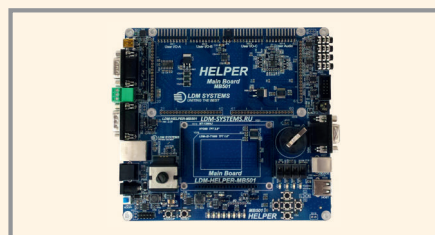


Рис. 1. «Базовая плата» LDM-HELPER-MB501-FULL в полной комплектации

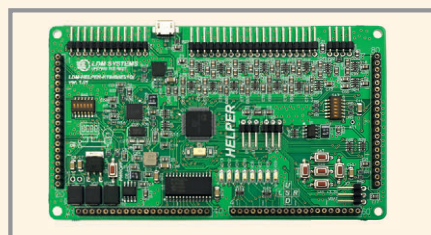


Рис. 2. LDM-HELPER-K1986BE21QI-FULL с МК K1986BE21QI «ARM Cortex-M0»

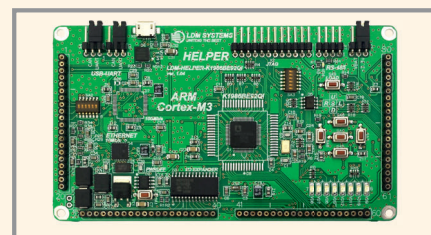


Рис. 3. LDM-HELPER-K1986BE92QI-FULL с МК K1986BE92QI ARM Cortex-M3

## Новости российского рынка

### Л2-100 ТЕКО: цифровой запоминающий характериограф полупроводниковых приборов

ЗАО «ТЕСТПРИБОР», российский разработчик и производитель контрольно-измерительного и испытательного оборудования, представляет цифровой запоминающий характериограф полупроводниковых приборов (ППП) серии Л2-100 ТЕКО. Этот прибор предназначен для исследования статических вольтамперных характеристик (ВАХ) ППП, интегральных микросхем, оптоэлектронных и пассивных компонентов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).



Характериограф Л2-100 ТЕКО может служить современной заменой устаревшего и снятого с производства измерителя характеристик ППП Л2-56.

Анонсируемый характериограф выполнен в виде компактного носимого прибора, оснащён цветным 5,7-дюймовым TFT ЖК-дисплеем, съёмной панелью подключения ППП и бесконтактными регуляторами, отличающимися высокой надёжностью и длительным сроком службы.

Характериограф реализован на современной компонентной базе ведущих мировых производителей, таких как Analog Devices, Texas Instruments, National Semiconductor и др.

Характеристики Л2-100 ТЕКО:

- максимальный ток – 50 А;
- максимальное напряжение – 5000 В;
- курсорные измерения напряжений и токов с дискретностью отсчёта до 1 нА и до 0,2 мВ, соответственно;
- цифровая фильтрация помех;
- компенсация сопротивления контактирующих устройств;
- сохранение и воспроизведение ВАХ, результатов измерения и настроек прибора;
- высокоскоростной USB-порт для подключения к ПК;
- вывод изображения ВАХ на экран компьютера в режиме реального времени;
- экспорт ВАХ в форматах CSV, XLS, JPG, PNG, BMP, GIF и TIFF.

Характериограф оснащён контактирующими устройствами для исследования ППП в корпусах типа TO-220, TO-247, TO-3P,

TO-52, TO-72, TO-92, DO-35, TO-66, TO-3 и др., а также универсальной группой гнезд для подключения зондовых установок и контактирующих устройств пользователя.

Характериограф Л2-100 ТЕКО внесён в Госреестр СИ под номером 60107-15.

Его параметры и возможности не уступают импортным аналогам при существенно более низкой цене.

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

Тел.: (495) 657-8737

### DC/DC-преобразователи для монтажа на DIN-рейку

Компания XP Power объявила о начале выпуска низкопрофильных 15- и 30-ваттных DC/DC-преобразователей серий DDC15 и DDC30 для монтажа на DIN-рейку. Эти приборы разработаны для обеспечения дополнительных напряжений в системах электропитания для монтажа на DIN-рейку, обеспечения гальванически развязанных выходов



и помехоустойчивости, а также поддержки применений, работающих от батарей.

Одноканальные преобразователи характеризуются широким диапазоном входного напряжения 9...36 В (кратность перекрытия диапазона входного напряжения 4:1), что позволяет работать от сетей с номинальными напряжениями 12 и 24 В. Кроме того, в серии DDC15 доступна модель с выходным напряжением 3,3 В. Гальваническая развязка между входными и выходными цепями 1500 В (постоянный ток).

Занимая меньше места на DIN-рейке, в сравнении с доступными на рынке подобными приборами, эти компактные модули с конвекционным охлаждением имеют размеры всего лишь 91,0 × 56,5 × 18,0 мм (серия DDC15) и 91,0 × 56,5 × 35,0 мм (серия DDC30). Анонсируемые модули серии DDC способны сохранять работоспособность в широком диапазоне температур –40...+70°C. При этом они обеспечивают в нагрузке мощность до температуры +50°C.

Преобразователи серий DDC15 и DDC30 соответствуют требованиям международных стандартов безопасности для промышленной аппаратуры управления UL508, EN 60950-1 A12:2001 и IEC60950-1 A1:2009. По уровню излучаемых и кондуктивных

помех модули соответствуют EN55022 Class B без применения каких-либо дополнительных фильтрующих компонентов.

На передней панели установлены два светодиода, обеспечивающие индикацию состояния входного постоянного напряжения, а также клеммы с винтовым креплением для входных и выходных соединений. На передней панели DDC30 имеется потенциометр для регулировки выходного напряжения.

Применяя преобразователи серии DDC, разработчики могут воспользоваться дополнительными напряжениями питания от единой установки на DIN-рейке.

DC/DC-преобразователи серий DDC поддерживаются 3-летней гарантией.

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

Тел.: (495) 234-0636

### Новинка от AUO – яркий дисплей для уличного применения

Компания AUO уже давно известна на рынке ЖК-дисплеев как производитель огромного числа разнообразных моделей промышленного и информационного назначения. В ассортименте тайваньского производителя есть дисплеи, способные работать при низких температурах, со встроенными сенсорными экранами, повышенной виброустойчивостью и широкими углами обзора.

Компания AUO выпустила новый дисплей, предназначенный для применения в условиях яркого освещения и низких температур, – G070VTN02.0.



Новая модель от AUO расширяет линейку дисплеев с повышенной яркостью изображения для работы в уличных условиях.

Матрица G070VTN02.0 сочетает в себе высокие показатели яркости (1500 кд/м²), устойчивость к отрицательным температурам (сохраняется работоспособность при –30°C) и стандартное разрешение для семидюймовых матриц – 800 × 480.

Повышенная яркость (1500 кд/м²) позволяет использовать эту панель в различных системах, находящихся под воздействием прямых солнечных лучей – даже в таких условиях изображение будет оставаться



## Новости российского рынка

хорошо читаемым. А устойчивость к отрицательным температурам делает эту панель оптимальным решением для применения на железнодорожном транспорте.

Подсветка данной ЖК-панели выполнена по классической схеме на основе массива светодиодов, значительно уве-

личивающей время бесперебойной работы панели.

Краткие характеристики G070VTN02.0:

- размер рабочей области 152,4 × 91,44 мм;
- габаритные размеры 169,0 × 103,51 × 6,22 мм;
- размер по диагонали 7";
- разрешение 800 × 480;

- яркость 1500 кд/м<sup>2</sup>;
- контрастность 600:1;
- время отклика 12 мс;
- диапазон рабочих температур -30...+70°C;
- подсветка дисплея – LED.

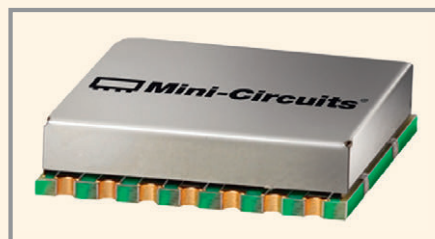
[www.prochip.ru](http://www.prochip.ru)

Тел.: (495) 232-2522

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

### Набор AVM-273HP+ от Mini-Circuits

Компания Mini-Circuits выпустила набор AVM-273HP+, состоящий из MMIC усилителя AVM-273HP+ и вспомогательного модуля VCM-1+, позволяющего более просто организовать питание усилителя.



Микросхема усилителя AVM-273HP+, выполненная по PHEMT-технологии, обеспечивает выходную мощность 0,5 Вт в полосе 13...26,5 ГГц. Но при этом требуется достаточно сложная процедура включения питания.

VCM-1+ – это модуль питания для микросхемы AVM-273HP+. Он обеспечивает правильную последовательность включения питания, что значительно упрощает разработку устройств с применением AVM-273HP+.

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

Тел.: (812) 313-3440

### 6-ваттные DC/DC-преобразователи в компактном корпусе SIP

Компания XP Power объявила о начале выпуска 6-ваттных DC/DC-преобразователей серии ITQ.



Выполненные в стандартном компактном корпусе SIP-8 с габаритными размерами 21,85 × 11,1 × 9,2 мм преобразователи серии ITQ занимают меньшую площадь на печатной плате, предоставляя разработчикам больше места для добавления функций или возможность уменьшить габаритные размеры законченного изделия.

Преобразователь обеспечивает удельную мощность 600 Вт/дм<sup>3</sup> и характеризуется весьма высоким КПД 87% (тип.), что делает его оптимальным решением для современных изделий, соответствующих требованиям «зелёных» стандартов.

Высокая эффективность означает, что модули серии ITQ рассеивают меньше тепловой энергии и не требуют принудительного охлаждения или радиаторов. Одно- и двухканальные модели допускают работу в широком диапазоне входного напряжения 9...36 В или 18...75 В (кратность перекрытия диапазона входного напряжения 4:1). Обеспечиваются выходные напряжения +3,3; +5; +9; +12; +15; +24; ±5; ±12 и ±15 В.

Стандартное значение диэлектрической изоляции между входными и выходными цепями имеет значение 1500 В (постоянный ток), но доступны модели с электрической прочностью изоляции 3000 В (с суфффиксом – Н). Все модели оснащены входом дистанционного включения/выключения, который обеспечивает управление от внешних устройств для установления последовательности подачи напряжения или автоматического включения/выключения.

Преобразователи серии ITQ могут применяться в устройствах, предназначенных для работы в окружающей среде. Приборы характеризуются широким диапазоном рабочих температур -40...+100°C. Полная выходная мощность обеспечивается на выходе при температурах до +70°C без понижения мощности. DC/DC-преобразователи серии ITQ заменяют 6-ваттные преобразователи серии ITX с кратностью перекрытия диапазона входного напряжения 2:1.

Модули серии ITQ поддерживаются 3-летней гарантией.

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

Тел.: (495) 234-0636

### Гермовводы и проходные изоляторы для электронной аппаратуры и контактов конденсаторов

ОАО «Завод «МАРС» постоянно пополняет номенклатуру выпускаемых изоляторов и гермовводов. В настоящее время освоено производство как металlostеклянных гермовводов, так и металлокерамических для использования в условиях повышенных нагрузок.



Основные типы металlostеклянных изоляторов: ИС, ИСПП, ИСШ. Данные изоляторы предназначены для работы в диапазоне температур от -60 до +155°C. Показатель герметичности по эквивалентному нормализованному потоку гелия не более  $5 \times 10^{-6}$ . Сопротивление изоляции не менее  $10^8 - 10^{10}$  Ом.

Основные типы металлокерамических изоляторов: ИКПТ, ИКПМ, ИКЛ. Изоляторы керамические проходные термостойкие изготавливаются по комбинированной технологии стеклокерамического и/или металlostеклянного спая. Данные изоляторы предназначены для изоляции и герметичной заделки выводов элементов радиотехнической и электронной аппаратуры. Работа в диапазоне температур от -60 до +155°C. Показатель герметичности по эквивалентному нормализованному потоку гелия не более  $5 \times 10^{-5}$  мкм рт. ст./с. Сопротивление изоляции не менее  $10^5$  Ом.

[www.z-mars.ru](http://www.z-mars.ru)

Тел.: (48251) 552-37





**АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»**  
Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11  
Тел. (495) 917-21-03  
Факс (495) 917-19-70  
E-mail: [mwsystems@mwsystems.ru](mailto:mwsystems@mwsystems.ru)  
[www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)



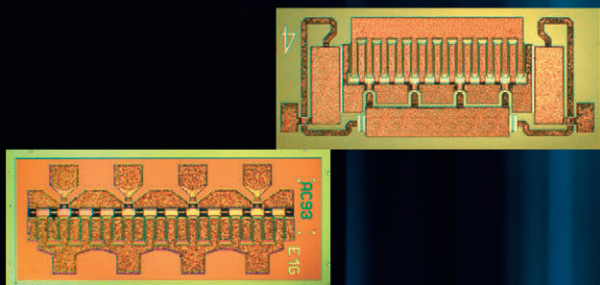
# БЕЗУПРЕЧНОГО СЛУЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВУ





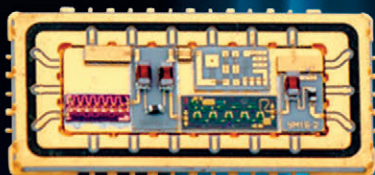
## СВЧ-ТРАНЗИСТОРЫ

РАЗРАБОТАНЫ ПРЕДПРИЯТИЕМ ДЛЯ  
ПРИМЕНЕНИЯ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЯХ



## СВЧ-УСИЛИТЕЛИ УЛЬТРАМИНИАТЮРНЫЕ

В ГЕРМЕТИЧНЫХ МЕТАЛЛО-КЕРАМИЧЕСКИХ  
КОРПУСАХ С РАБОЧЕЙ ЧАСТОТОЙ ДО 18 ГГц,  
ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ ДО 6 Вт.

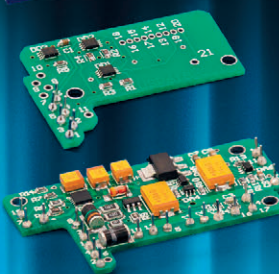
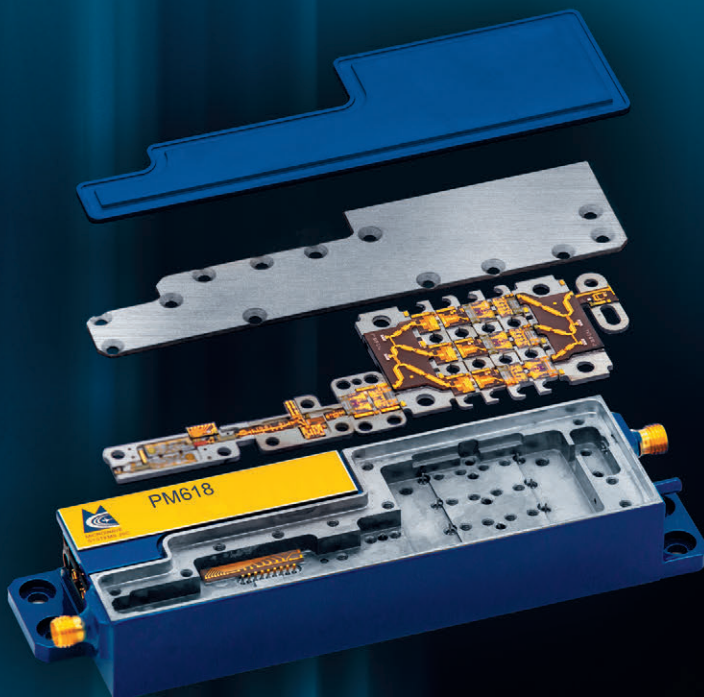


### ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ

- Рабочий диапазон частот 4-12 ГГц
- Выходная мощность в непрерывном режиме 15-20 Вт
- Типовой КПД 20%
- Неравномерность АЧХ не более 5 дБ
- КСВН вх/вых не более 2,5
- Цифровое 5-разрядное управление усилением
- Встроенный детектор выходной мощности
- Встроенный скоростной модулятор питания
- Температурная компенсация усиления
- Нормированные ФЧХ
- Малые габариты и масса

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СВЧ-УСИЛИТЕЛИ:

- СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- ПЕРЕДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



### ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СВЧ-УСИЛИТЕЛЬ

- Рабочий диапазон частот 8-18 ГГц
- Выходная мощность в непрерывном режиме 5-6 Вт
- Типовой КПД 14%
- Неравномерность АЧХ не более 5 дБ
- КСВН вх/вых не более 2,5
- Цифровое 5-разрядное управление усилением
- Встроенный детектор выходной мощности
- Встроенный скоростной модулятор питания
- Температурная компенсация усиления
- Нормированные ФЧХ
- Малые габариты и масса

# Моделирование новой бета-вольтаики на монокристаллах LPE i-GaAs

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

В статье показана исключительно перспективная возможность создания бета-источников питания на основе изотопов  $^{147}\text{Pm}$  и монокристаллов LPE i-GaAs, с эффективной мощностью преобразования не менее чем в 45 раз выше в сравнении с бета-источниками на основе изотопа  $^{63}\text{Ni}$  и кремния.

Статья опубликована в авторской редакции.

Мнение редакции не всегда совпадает с авторской линией.

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

Уровень и перспективность электроники определяются свойствами базового материала – кремния, германия на кремнии, арсенида и нитрида галлия, карбида кремния и, в перспективе, алмаза и нитрида бора, в том числе и в таком новом направлении, как бета-вольтаика. Нет смысла лишний раз подробно интерпретировать и подчёркивать значение рынка объёмом \$20 млрд в областях кардио-, нейростимуляторов, слуховых аппаратов, устройств для преодоления слепоты, дефибрилляторов, биосенсорики, аппараты для онкологии, оружия будущего (сенсорных и психотронных микро-БЛА – беспилотных летательных аппаратов – MAV), сферы действия МЧС («чёрные ящики», поиск в недоступном пространстве, безопасность АЭС, строительных конструкций и другое). Важно найти качественно новые прорывные технологические платформы в этом направлении. Один из вариантов таких новых решений и предлагается в настоящей статье.

## Относительная эффективность бета-источников

Из физики твёрдого тела известно, что взаимодействие пучка высокоэнергетичных электронов с кристаллической структурой ковалентных (Si, Ge, diamond и других) и ионных (GaAs, InP, InSb и других) монокристаллов сопровождается многими явлениями, среди которых прежде всего следует отметить рассеяние (Elastically and Inelastically Scattered Electrons) и дифракцию электронов, генерацию рентгеновского излучения (X-rays), фотонов низкой энергии, оже-электронов (Auger-Electrons) и других в широком диапазоне значений  $h\nu$  – энергии с длиной волны от длины де Бройля  $\lambda \approx 1,22/E^{1/2}$ , где  $[\lambda] = \text{нм}$ , а  $[E] = \text{эВ}$  ( $E$  – энергия электрона) до энергии запрещённой зоны полупроводника (то есть включая оптическое свечение). Скорость электронов в излучающем пучке зависит от энергии, предположим,

в РЭМ-излучении с энергией 100 кэВ она составляет  $\approx 1,6 \times 10^8 \text{ м/с}$  или  $\approx 1/2 \text{ С}$  (скорость света).

Чем выше энергия релятивистского электрона, тем больше энергии в виде ионизации электронов и волновых квантов выделится в монокристалле. Но здесь есть свои ограничения, которые связаны с механизмом радиационных повреждений приёмного монокристалла, обусловленных выбиванием атомов из «седла» кристаллической решётки и, соответственно, созданием вакансий и междоузлий (пары Френкеля). Интенсивность этого процесса напрямую зависит от энергии электронов, облучающих монокристалл. Порог смещения данной энергии  $E_c$  также определяется энергией связи атомов и энергии смещения  $E_d$  и атомным весом элемента (элементов) кристаллической решётки. Экспериментальные данные энергии смещения  $E_d$  для ряда атомов и функция от пороговой энергии пучковых электронов показаны на рисунке 1 [1].

Из анализа пороговой энергии выбивания и с учётом того, что чем выше энергия лучевого электрона и чем выше флюенс электронного излучения, в таких соединениях, как алмаз, полупроводниковых кристаллах с соединениями лёгких атомов, таких как BN и MOCVD SiC, GaN и другие, с позиции эффективной бета-вольтаики «искать нечего», в пограничной зоне ( $< 150\text{--}170 \text{ кэВ}$ ) эффективность/неэффективность – кремний (Si), несмотря на все известные Trench-конструкции. Очень выигрышно выглядит германий (Ge), но на нём проблематично создать монокристаллы с собственной шириной физического p–n-перехода в единицы и, тем более, в десятки микрометров. В подтверждение вышесказанного в блестящей монографии по бета-воль-

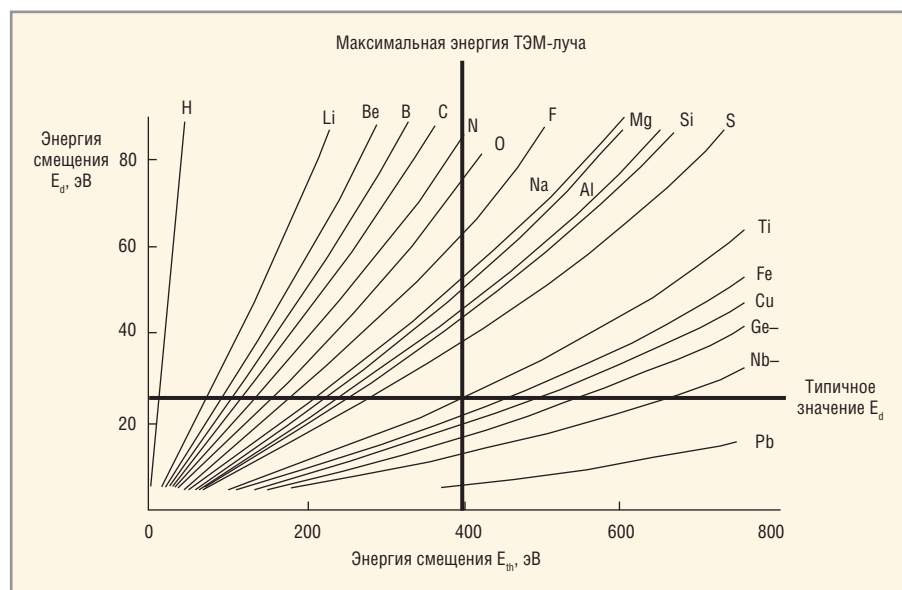


Рис. 1. Энергия смещения  $E_d$  (дефектообразования) для различных атомов



таике [2] показана бессмысленность создания бета-токового генератора на основе MOCVD политипов 4H-, 6H-SiC, где даже высокая плотность неосновных носителей в виде дырок с энергией 3,2–3,4 эВ «строит» атомную решётку (SF-эффект). А что тогда говорить про электрон с энергией 200–300 кэВ?

Экспериментальные исследования энергии дефектообразования по Френкелю в известных полупроводниковых монокристаллах (с нашим техническим прогнозом) показаны в таблице 1 (по данным работы «Advances in Power Sources» [3]).

Из вышеприведённого следует, что мы подошли к проблеме выбора эффективных природных источников лучевой энергии электронов – изотопов.

В таблице 2 показаны наиболее распространённые в бета-вольтаике изотопы, такие как источники излучения высокоэнергетичных электронов (с энергией не выше 250 кэВ).

Из таблицы 2 следует, исходя из пороговой энергии дефектообразования (пар Френкеля), наиболее приемлемыми изотопами для кремниевой бета-вольтаики являются изотопы  $^3\text{H}$  и  $^{63}\text{Ni}$ , а такие изотопы, как  $^{113\text{m}}\text{Cd}$  и  $^{147}\text{Pm}$  – находятся либо на грани, либо в абсолютной зоне радиационного дефектообразования (резкого падения эффективности бета-источника питания). По данным публикации «Бета-вольтаический МЭМС – преобразователь энергии» [4] можно сравнительно оценить (см. табл. 3) теоретически максимально возможную энергию бета-генерации (мощность преобразования /  $\text{см}^2 \times \text{с}$ ) в кремнии и арсениде галлия (MOCVD) и прогнозируемую в LPE GaAs.

Анализируя значения параметров, показанных на рисунке 1, в таблицах 1, 2 и 3, можно сделать вывод, что наиболее эффективная бета-вольтаика может быть построена на основе практически бездефектного (около  $10^1 \text{ см}^{-2}$ ) LPE i-GaAs, структурная однородность которого значительно выше, чем у i-GaAs-полупроводника, полученного по MOCVD-технологии.

## ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕТА-ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ LPE i-GaAs

Исходя из анализа максимальных значений энергии излучения протонов, максимальная длина пробега радиационных электронов изотопов  $^{63}\text{Ni}$  и  $^{147}\text{Pm}$  в атомных решётках Si и GaAs составляет 12 и 55 мкм соответ-

ственно. У  $^{113\text{m}}\text{Cd}$  чуть выше – 40 мкм. Число генерируемых электронных носителей в Si и GaAs при облучении одним электроном со средними энергиями в 17,1 кэВ ( $^{63}\text{Ni}$ ), 57 кэВ ( $^{113\text{m}}\text{Cd}$ ), 65 кэВ ( $^{147}\text{Pm}$ ) будет, соответственно, от 3800 электронов ( $^{63}\text{Ni}$ ) до 17 000 электронов ( $^{147}\text{Pm}$ ). Другими словами, предположим, что изотоп имеет флюенс электронов  $\approx 10^{10} \text{ см}^{-2}$ , тогда фактическая генерация свободных электронов (способных участвовать в проводимости  $\sigma = qn$ ) в кремнии и арсениде галлия будет соответственно  $3,8 \times 10^{13}$  и  $1,7 \times 10^{14}$  – в объёме  $1,0 \text{ см}^2 \times$  длину пробега. Другой вопрос: все ли электроны «добегут» до контактов, пока их не вернёт «на своё место» атомно-кристаллическая решётка? Далеко не все. Всё будет зависеть от подавления вероятности рекомбинации (возврата электронов в атомно-связанное состояние, непроводящее состояние, то есть обнуляющей дивергенцию зарядов в объёме полупроводника). Уровень паразитной в данном случае рекомбинации электронов зависит от их свойств (время жизни, диффузионная длина, коэффициент диффузии) и от материала полупроводника, но важнейшую роль приобретает сила электрического поля

в зоне физического p–i–n-перехода, которое зависит от величины собственного потенциала p–n-перехода

$$\left( qU_{p-n_0} \approx kT \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right)$$

и пролётной скорости электронов в области физического p–n-перехода (то есть области пространственного заряда), которая определяется формулой  $v = \mu E$ . Как известно, чем шире область пространственного заряда (ОПЗ) p–n-перехода, тем ниже напряжённость поля в нём и, соответственно, ниже пролётная скорость электронов. Разница состоит в том, что зависимость  $V_{\text{GaAs}}$  и  $V_{\text{Si}}$  при слабых полях отличается на порядок в пользу GaAs, соответственно, и время пролёта меньше на порядок. Предположим, что мы для изотопа  $^{63}\text{Ni}$  выбрали высокоомный кремний с  $\rho \approx 500 \text{ Ом} \times \text{см}$ . Расчёт показывает, что резкий Si p–i–n-переход с указанной омностью будет иметь ширину ОПЗ  $\approx 12 \text{ мкм}$  (максимальная глубина пробега высокоэнергетичных электронов  $^{63}\text{Ni}$  – 12 мкм), а это значит, что большая часть ионизированных электронов окажется в ОПЗ – области p–i–n-перехода. Но здесь вмешивается пролётный механизм сепари-

Таблица 1. Пороговая энергия дефектообразования пары Френкеля

| Материал                      | Энергия запрещённой зоны (эВ), $E_g$ | Пороговая энергия дефектогенерации пары Френкеля (кэВ), $E_b$ |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Кремний (Si)                  | 1,12                                 | ~ 190–200                                                     |
| Арсенид галлия (MOCVD) (GaAs) | 1,43                                 | ~ 225                                                         |
| Германий (Ge)                 | 0,73 (0,69*)                         | > 350                                                         |
| Арсенид галлия (LPE) (GaAs)   | 1,43                                 | ~ 250 – 300**                                                 |

\* По разным источникам.

\*\* Прогнозируемый по дефектообразованию пары Френкеля уровень радиационной стойкости LPE i-GaAs.

Таблица 2. Характеристики изотопов

| Изотоп                                    | Период полураспада (лет) | Тип распада      | Средняя энергия распада, кэВ | Максимальная энергия распада, кэВ |
|-------------------------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Тритий ( $^3\text{H}$ )                   | 12                       | $\beta$          | 5,7                          | 18,5                              |
| Никель-63 ( $^{63}\text{Ni}$ )            | 100,1                    | $\beta + \gamma$ | 17,3                         | 66,7                              |
| Кадмий-113m ( $^{113\text{m}}\text{Cd}$ ) | 14                       | $\beta$          | 57                           | 190                               |
| Прометий-147 ( $^{147}\text{Pm}$ )        | 2,64                     | $\beta$          | 65                           | 220                               |

Таблица 3. Теоретически предельная энергия бета-генерации на  $1,0 \text{ см}^2$  в Si и GaAs

| Изотоп                    | Si<br>мкВт/см $^2 \times$ с | GaAs (MOCVD)<br>мкВт/см $^2 \times$ с | GaAs (LPE)*<br>мкВт/см $^2 \times$ с |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| $^3\text{H}$              | 0,2**                       | –                                     | –                                    |
| $^{63}\text{Ni}$          | 0,8                         | 1,2                                   | 1,5*                                 |
| $^{113\text{m}}\text{Cd}$ | 7                           | 13                                    | > 13*                                |
| $^{147}\text{Pm}$         | –                           | –                                     | > 15*                                |

\* Прогнозируемая плотность энергии при бета-генерации.

\*\* Мощность преобразования, на взгляд авторов настоящей публикации, завышена в сотни раз (см. рис. 6).

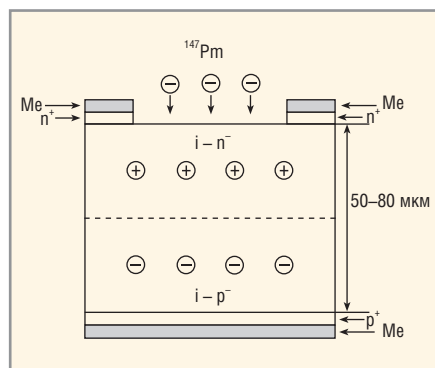


Рис. 2. Односторонняя GaAs p-i-n бета-структура ( $W$  – до 20 мкВт/см<sup>2</sup> × с)

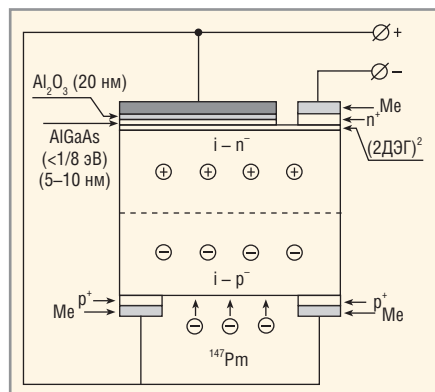


Рис. 4. Комбинированный (конденсаторный) бета-источник на основе комбинации p-i-n-перехода и МОП-конденсатора ( $W$  до 20 мкВт/см<sup>2</sup> × с)

рования электронов и дырок, то есть нужно, чтобы пролётное время было гораздо ниже типовых значений времени жизни в высокоомном кремнии, достигающих нескольких микросекунд. Проблема пролётного времени связана с начальной характеристикой подвижности электронов и дырок на графике насыщения  $V = f(E)$ , которые имеют в слабых полях на порядки меньшие значения, чем в зоне насыщения.

Таким образом, на КПД генерации очень сильно влияет ряд факторов: ширина ОПЗ, время жизни генерируемых носителей заряда, которое может быть сверхкоротким (ионизированные «лёгкие» электроны с глубоких атомно-орбитальных уровней), а также глубина на  $p^+$ -областях p-i-n-переходов, нанокластеры и другое. Но (!) необходимо подчеркнуть, что вышеописанная модель генерации электронно-дырочных пар основана на свойствах зонной энергетики полупроводника с традиционными классическими понятиями переноса зарядовой частицы (электрон/дырка) в объёме полупроводника в пределах их времён жизни в неравновесном состоянии. Но физика высоких энергий высокоэнергетических частиц (десятки, сотни кэВ) резко отличает-

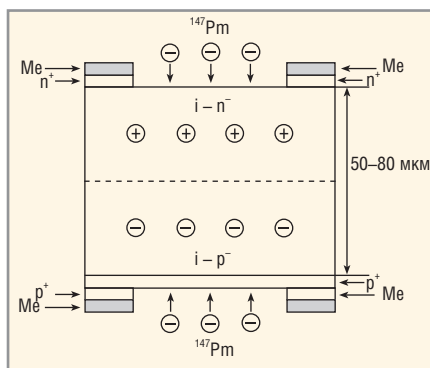


Рис. 3. Двухсторонняя GaAs p-i-n бета-структура ( $W$  до 30 мкВт/см<sup>2</sup> × с)

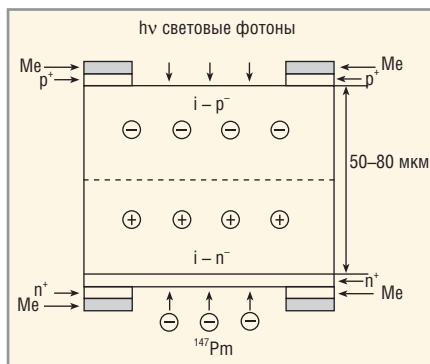


Рис. 5. Комбинированный бета-фото-источник для «MAV-пчёл» (день – полет – сенсорики; ночь – сенсорики)  $W \approx 30 - 40$  мВт/см<sup>2</sup> × с (фото) + до 20 мкВт/см<sup>2</sup> × с (бета)

ся от физики слабоэнергетичной электроники (ширина запрещённой зоны полупроводника, используемая в практических целях, всего 0,18–5,5 эВ), поэтому и динамика дивергенции зарядов несколько иная (см. раздел статьи «Динамические свойства бета-источников питания»).

Ширина физических p-i-n-переходов при собственном потенциале у 500-омного кремния и LPE p-i-n GaAs может отличаться на порядок (12 мкм и 100 мкм соответственно), а это значит, что для бета-источников на LPE i-GaAs более предпочтительны изотопы с более высокой энергией излучения электронов, например, <sup>147</sup>Pm (максимальная энергия электронов в процессе распада достигает 220 кэВ), который неприемлем для кремния. В этом случае теоретическая эффективность применения структур LPE p-i-n GaAs для бета-вольтаики, по сравнению с кремнием (Si), возрастает более чем на порядок.

Что касается GaN и политипов 4H-, 6H-SiC, то несколько факторов исключают возможность их применения для производства бета-источников, а именно: сверхмалые области ОПЗ (в несколько раз ниже, чем в Si и, тем более, в LPE i-GaAs), высокая дефект-

ность структур, малые времена жизни носителей заряда, низкая радиационная стойкость по электронному дефектообразованию из-за наличия лёгких атомов азота и углерода. Да и стоимость, к примеру, слабдефектного SiC площадью в 1 см<sup>2</sup> будет в пределах более чем \$1000 за чип. Радиационная стойкость твёрдого углерода – алмаза – к высокоэнергетичным электронам показана на рисунке 1.

На рисунках 2, 3, 4 и 5 показаны различные модификации конструктивного исполнения бета-источников на LPE i-GaAs, в том числе гибридный с оптико-инфракрасным широкополосным квантовым приёмом в диапазоне эффективной энергии солнечной радиации 0,4–5,0 микрометров (на эффекте «расщепления» уровня Ферми в запрещённой зоне LPE i-GaAs). Не стоит также удивляться и тому, что широкозонный SiC (4H-, 3C – дилатационные политипы) сможет усваивать энергию  $h\nu$  на длинах волн  $\approx 1,0$  мкм, что в классической физике возможно только на полупроводниках с шириной запрещённой зоны 1,14 эВ (немного больше, чем у кремния), что в три раза меньше, чем у политипов 4H-, 6H-SiC. В определённых научных кругах это уже известный факт.

### РАСЧЁТНАЯ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕТА-ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ <sup>63</sup>Ni/Si И <sup>147</sup>Pm/GaAs

На рисунках 2, 3, 4 и 5 показаны простейшие первичные варианты конструкций бета-источников питания, выполненных на основе системы <sup>147</sup>Pm/i-GaAs (LPE i-GaAs). Один излучаемый изотопом <sup>147</sup>Pm электрон со средней энергией 67 кэВ, проникая в монокристалл LPE i-GaAs на глубину более чем 50 мкм, генерирует свыше  $N_{147Pm} = 17\,000$  электронно-дырочных пар. Один электрон изотопа <sup>63</sup>Ni со средней энергией 17,3 кэВ, проникая в кремний на глубину порядка 12 мкм, генерирует не более 4000 электронно-дырочных пар.

Предположим, что мы имеем дело с «концентрированными» изотопами <sup>147</sup>Pm и <sup>63</sup>Ni, то есть большинство атомов в кристаллических решётках <sup>147</sup>Pm и <sup>63</sup>Ni ионизированы (в ускорительных циклотронах или в реакторах), тогда при «паритетной» концентрации радиоактивных атомов в <sup>147</sup>Pm и <sup>63</sup>Ni интенсивность излучения (флю-



енс) электронов на единицу площади, допустим, на  $1,0 \text{ см}^2$  будет определяться соотношением периодов полураспада ( $T_{1/2}$ ), то есть коэффициент эффективности  $K$  равен

$$K_{\Sigma 1} = \frac{T_{1/2}^{63\text{Ni}}}{T_{1/2}^{147\text{Pm}}} \approx \frac{100 \text{ лет}}{2,6 \text{ года}} = 38,46 \text{ раза.}$$

В итоге, гипотетическая эффективность источников бета-питания на основе систем  $^{147}\text{Pm}/\text{GaAs}$  и  $^{63}\text{Ni}/\text{Si}$  с одинаковой концентрацией радиоактивных атомов (изотопов) будет выражаться в соотношении количества генерируемых (ионизируемых) электронов в решётках Si и GaAs от изотопов  $^{63}\text{Ni}$  и  $^{147}\text{Pm}$ , умноженного на коэффициент  $K_{\Sigma}$ .

Отсюда следует, что теоретический потолок соотношения эффективности  $K_{\Sigma 2}$  бета-источников питания на основе  $^{147}\text{Pm}/\text{GaAs}$  и  $^{63}\text{Ni}/\text{Si}$  составляет

$$K_{\Sigma 2} = K_{\Sigma 1} \cdot \frac{17000}{4000} = 163.$$

То есть чисто теоретически, при равной концентрационной радиоактивности изотопов  $^{147}\text{Pm}$  и  $^{63}\text{Ni}$  (её выражают в мКи), потолочная эффективность систем бета-источников на основе изо-

топов – аналогов  $^{147}\text{Pm}$ , то есть с максимальной энергией электронов 220 кэВ и  $^{63}\text{Ni}$  – 67 кэВ, на кремнии и арсениде галлия отличается более чем на два порядка. Для сравнения, реальное значение соотношений радиационной активности в расчёте на 1,0 г изотопа прометия 147 и никеля 63 выражается дробью  $\frac{600}{59} \geq 10$  [5] и, с учётом лавинизации электронов при прочих равных условиях, эффективность бета-источников на основе  $^{63}\text{Ni}/\text{Si}$  и  $^{147}\text{Pm}/\text{GaAs}$  реально будет отличаться как минимум в 45 раз!

Отсюда следует, что относительно несложно рассчитать толщину плёнки изотопа  $^{147}\text{Pm}$  на поверхности LPE i-GaAs с учётом вынужденного саморассеяния радиационных электронов в кристаллической решётке  $^{147}\text{Pm}$ . Чаще всего приемлемая толщина радиоизотопа  $^{147}\text{Pm}$  с учётом ТКР и фактора саморассеяния на поверхности полупроводника составляет около 6 мкм. В принципе, такие толщины являются потолочными и для  $^{63}\text{Ni}$ . Иначе, предположим, при температуре кристалла свыше  $T_j > 100^\circ\text{C}$  изотопы металлов просто разорвут полупроводник

на куски, не говоря уже о «катакомбной» Trench- $^{63}\text{Ni}/\text{Si}$ -конструкции, в которой при высокой рабочей температуре будет наблюдаться обычная «закоротка». Здесь также уместно привести зависимость количества генерируемых электронов в полупроводнике от энергии изотопного электрона в реальных условиях, то есть при разумно допустимых толщинах плёнок металлических изотопов на поверхности полупроводника ( $\leq 6,0 \text{ мкм}$ ) и газового  $^3\text{H}$  [8] (см. рис. 6).

Из графика следует, что при энергиях изотопных электронов  $\approx 5 \text{ кэВ}$  генерация электронно-дырочных пар практически отсутствует (например, изотопы  $^3\text{H}$ ), поэтому изотопы с энергией  $\approx 5 \text{ кэВ}$  исключительно удобны для создания электронных пучков для процесса электронной нанолитографии (10,0–1,0 нм).

Приведённый выше расчёт произведён для материалов:

- Si с  $\rho \approx 500 \text{ Ом} \times \text{см}$  с  $W_{p-n} \approx 12 \text{ мкм}$ ;
  - i-GaAs с  $\rho > 10^9 \text{ Ом} \times \text{см}$  с  $W_i \geq 55 \text{ мкм}$ ,
- где  $W_{p-n}$  и  $W_i$  – ширина физического p-n-перехода, содержащего область пространственного заряда.

www.jtaglive.ru

JTAGLive®



## Пугают цены на системы периферийного сканирования?

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



Реклама

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

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

При расчёте не учитывался фактор, связанный с энергией ионизации атомов в кристаллических решётках Si и GaAs. Энергия ионизации атома кремния (по водороду) составляет 8,15 эВ, у германия – 7,88 эВ, приблизительно этого же порядка и у атомов Ga и As. Снижение энергии ионизации у более тяжёлых атомных элементов связано с увеличением плотности электронов на орбитах вокруг атомного ядра (Si –  $3s^2 3p^2$ ; Ga –  $4s^2 4p^1$ ; Ge –  $4s^2 4p^2$ ; As –  $4s^2 4p^3$ ), что, в принципе, хорошо коррелируется с зависимостью числа генерируемых электронов от энергии изотопного электрона. Но при этом не нужно путать энергию образования пары по Френкелю и энергию ионизации собственного атома. Это разные вещи.

Следовательно, если считать эффективность генерации электронов по кремнию изотопными электронами, то повышающий коэффициент генерации электронов составит  $\approx 1,04$  или  $\approx 3\text{--}4\%$ , что может служить поправкой в пользу GaAs. В начале статьи было подчёркнуто, что кремний – это полупроводник с ковалентной связью, а GaAs – с ионной, а это значит, что на повышении эффективности генерации электронов в бета-вольтаике на основе GaAs может также сказаться и атомно-дипольная поляризация молекулы GaAs, которая, кстати, и приводит к электронной генерации доменов Ганна. Этот фактор является пока только прогнозируемым, с учётом анизотропии кристалла. Упомянутая выше энергия ионизации, допустим, того же Si  $E_{\text{и}} = 8,15$  эВ – это не что иное как первичная ширина запрещённой зоны сверхчистого идеального атомарного (без всякой примеси и дефектов) кремния, реальную оптическую ширину запрещённой зоны  $E_{\text{гSi}} = 1,12$  эВ все хорошо знают со школьной скамьи. Это говорит о том, что энергия оптической запрещённой зоны на сегодня «висит» в энергопространстве, поскольку она не привязана к энергии ядра атома. Бета-электроника неизбежно поднимает этот вопрос, и здесь в расчётах принимается энергия ионизации атома, которая, допустим, выше классической энергии оптической запрещённой зоны более чем в 5–7 раз! В процессе взаимодействия высокоэнергетического электрона с атомной решёткой полупроводника генерируется часть электронов с глубоких орбитальных уровней, которые имеют сверхма-

лую эффективную массу  $m^*$ , которая имеет неклассическое соотношение с массой связанного электрона в GaAs  $m^*/m_0 = 0,068$  (а гораздо меньшую величину и их подвижность может достигать в десятки тысяч  $\text{см}^2/\text{В} \times \text{с}$ ). Время жизни таких сверхлёгких («сверхглубинных», валентных) электронов имеет сверхмалые значения по сравнению даже с очень малыми значениями  $\tau_n$  в GaAs, составляющих десятки наносекунд. Таким образом, взгляд на традиционную оптическую рекомбинацию электронов также предстоит пересматривать, как, впрочем, и энергию излучения при торможении изотопного электрона в полупроводниковой решётке (энергия торможения), которую удобно использовать для генерации от терагерцового (субмиллиметрового) диапазона, ближнего/среднего/дальнего инфракрасного, оптического диапазонов, вплоть до X-рентгеновского диапазона (прикладывая сильное электрическое поле к p-i-n GaAs образцу, тем самым регулируя тормозную энергию электрона в области пространственного заряда физического p–n-перехода). О радиационной стойкости в пользу LPE i-GaAs говорит и патент по созданию нейтронного датчика на основе LPE i-GaAs сотрудниками МИСИС, г. Москва (RU 2532647, авторы Бритвич Г.И., Кольцов Г.И. и другие), выдерживающего огромный флюенс импульсного нейтронного облучения.

На основании наших последних достижений по пассивации LPE p-i-n GaAs высоковольтных переходов (1,0 мкА, +300°C, сотни вольт при площади чипа  $1,7 \times 1,7$  мм<sup>2</sup>) мы планируем резко улучшить характеристики нейтронных датчиков, сверхчувствительность как обратного смещённого, так и прямосмещённого действия, а это не что иное, как тоже бета-, а точнее, протоно-вольтаика. Совершенно очевидно, что наши технологии будут более приемлемы для обеспечения безопасности АЭС.

Подводя итог приведённой информации по достигнутому уровню качества пассивации p-i-n GaAs переходов, можно с исключительным оптимизмом констатировать, что на рынке появится новейшее поколение электронных приборов, то есть новая электронная индустрия на основе монокристаллов LPE i-GaAs. Это абсолютно новая электроника, отличающаяся тем, что она будет работоспособна при температурах кристалла GaAs вплоть до 320–350°C и будет

отличаться исключительной радиационной стойкостью, гиперскоростью. На основе кристаллов LPE i-GaAs можно создать все известные физические прототипы полупроводниковых приборов, созданные на основе кремния, карбида кремния, полупроводника арсенида галлия, нитрида галлия и других, вместе взятых. Впереди феноменальные разработки и серийный выпуск силовой электроники, СВЧ и, с учётом бета-электроники, терагерцовой электроники, инфракрасной, оптической/световой, ультрафиолетовой и рентгеновской электроники, то есть во всём диапазоне частот от  $10^0$  до  $10^{17}$  Гц. На основе данного кристалла прорабатываются модели высоковольтных терагерцовых генераторов субмиллиметрового диапазона на новых принципах модуляции Максвелловской анизотропии скорости распространения электромагнитных волн.

Кристаллы LPE i-GaAs, наряду с чистым кристаллическим алмазом (Diamond), имеют собственную концентрацию электронов  $< 2 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$ , то есть это чистые диэлектрики. Проводимость GaAs кристаллов хорошо модулируется от сопротивлений выше, чем  $10^9 \text{ Ом} \times \text{см}$  до металлической ( $\rho < 10^{-5} \text{ Ом} \times \text{см}$ ), то есть монокристаллы LPE i-GaAs и алмаза нарушают общепринятое классическое деление твёрдых тел по проводимости на диэлектрики, полупроводники, проводники. Более того, в работе «Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs монокристаллов» [6] показано, что при безрассеянном пролёте электронов в GaAs на расстояниях меньше 4,5 нм данный кристалл является идеальным проводником, у которого почти нет электрического сопротивления и, более того, при попадании одного электрона  $^{147}\text{Pm}$  в наноплощадку GaAs размером  $4,5 \times 4,5$  нм мы, очевидно, будем наблюдать явление комнатной сверхпроводимости, поскольку концентрация генерируемых электронов от радиационного электрона может превысить количество атомных ядер в данном объёме.

Смысл подлинной наноэлектроники (10–1,0 нм) заключается в приближении к размерам постоянной кристаллической решётки, к примеру, кремния, германия, арсенида галлия (в пределах 0,54–0,56 нм). Приближение к технологической субнаноразмерности – это ключ к сверхэнергии (сверхчастоте) –  $E = h\nu$ , а та нация, которая владеет этой



сверхэнергией, обладает сверхмощностью. Вот почему стратегически важно не уступать технологиям компании Intel на материалах  $A_{III}B_V$ , то есть на том же GaAs. Но пока, к счастью, предлагаемая нами технология получения монокристаллов GaAs имеет значительные преимущества.

### ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТА-ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Из элементарной физики известно, что электрическая энергия измеряется произведением ватт на секунду (Дж) или, как общепринято, в кВт × час ( $3,6 \times 10^6$  Дж). То же самое и в бета-источнике питания. В связи с этим очень важно знать, а что же «выдаст» бета-источник питания для обеспечения взмаха крыльев MAV-стрекозы с частотой до 100 Гц или для работы бортового пассивного микрорадара, допустим, в середине X-диапазона (10 ГГц)?

Ещё раз подчеркнём ранее упомянутый фактор, а именно: если изотоп  $^{147}\text{Pm}$  с энергией 220 кэВ имеет флюенс/см<sup>2</sup>  $10^{10}$  в секунду, то число генерируемых электронов в полупроводнике будет порядка  $1,7 \times 10^{14}$  (в лучшем случае) за 1,0 с. Следовательно, на частоте 10 ГГц электронов будет всего 10 000, то есть меньше, чем от воздействия одного высокоэнергетического электрона. Другими словами, при работе микро-Р-НЕМТ надо надеяться, что хотя бы один электрон изотопа попадёт в кристалл. Вот и все расчёты. Для количественной оценки уместно привести хотя бы приблизительную формулу расчёта динамической энергии  $\Delta E_i$ :

$$\Delta E_i = (\Delta U_i)^2 \cdot \sigma \cdot t = \eta \cdot \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \cdot q n_i \cdot \tau,$$

где  $\tau$  – время обработки сигнала (допустим,  $10^{-10}$  с),  $n$  – концентрация генерируемых электронов,  $\eta$  – КПД генерации бета-ЭДС. Отсюда вытекает, что если мы используем «слабые» по флюенсу изотопы, хотя и с хорошей энергией, то мы ничего серьёзного не получим, как например, в случае давно известного технеция ( $^{99}\text{Tc}$ ) при энергии электронов 292 кэВ, в принципе, такая оценка применима и для  $^{63}\text{Ni}$ .

Для полупроводниковой бета-вольтаики нужны мощные, сверхрадиоактивные изотопы с энергиями, близкими к 220–250 кэВ и с периодом полураспада хотя бы год или два. Фактически, нужен аналог  $^{147}\text{Pm}$  с флюенсом выше чем  $10^{12}$ – $10^{13}$  см<sup>-2</sup> × с.

В таком случае можно выстраивать бета-источники, приближающиеся к фотовольтаике на уровне единиц процентов. Но и это не всё. На динамику бета-источника питания исключительное влияние имеет... динамическая нагрузка, то есть скорость отбора генерируемого заряда в твёрдотельном вакууме (в данном случае из кристаллической решётки GaAs) – объёмная масса частиц атома полупроводника, включающая в себя ядро: протоны/нейтроны и орбитальные электроны, допустим, в таких тяжёлых полупроводниках, как Ge или GaAs, – не более 10% общего объёма (для сравнения, в атоме водорода всего 2,0%), а остальное пространство – это электромагнитная масса, из которой можно получить в будущем мегаэффективные генераторы). В системе  $^{147}\text{Pm}/\text{GaAs}$  в твёрдотельный вакуум вбрасывается релятивистский электрон со значительной энергией, допустим,  $\approx 100$  кэВ при флюенсе/см<sup>2</sup>  $10^{10}$  и, следовательно, за  $\tau = 10^{-10}$  с мы имеем «удар» одной элементарной частицы, имеющей начальную скорость  $V = \frac{1}{2} C$  ( $1,6 \times 10^{10}$  см/с), которая затем, в конце концов, в глубине кристалла гасится до «зонной», то есть в i-объёме до уровня  $\approx 10^6$  см/с при  $E \sim 100$  В/см (критическая электропрочность в GaAs  $\approx 4\text{--}6 \times 10^5$  В/см).

В процессе гашения пролётной скорости электрона от релятивистской до зонной мы имеем фактически преобразование энергии изотопного электрона с длиной волны де Бройля от 100 кэВ до ширины запрещённой зоны – 1,43 эВ (проводящее состояние). Вопрос в том, какова динамика преобразования? Физическое, очень глубокое понимание процесса бета-преобразования в «зону» изложено в работе «Электронная микроскопия и ионная спектроскопия» [1]. Механизм рассеяния энергии высокоэнергетического электрона путём упругих, неупругих взаимодействий изотопного электрона с орбитальными (оболочными) электронами приводит к «дроблению» энергии электрона изотопа в генерационную коллективную энергию зонных электронов (см. рис. 6). Но на рисунке 6 не показаны другие виды генерации энергий электронов в процессе рассеяния электрон/электрон и электрон/ядро, а также необходимо сюда приплюсовать и энергию  $\gamma$ -квантов тормозной энергии электрона в кулоновском поле ядра с длиной волны  $\lambda = 1,24/E$ , где  $[\lambda] = \text{нм}$ ,  $[E] = \text{кэВ}$ .

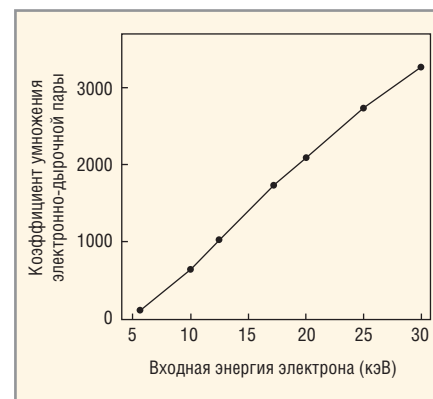


Рис. 6. Зависимость генерации электронов от энергии изотопного электрона [8]

Другими словами, речь идёт о том, что в решётке GaAs генерируются электроны с промежуточной длиной волны де Бройля гораздо большей начальной, и с промежуточными скоростями генерируемых электронов в диапазоне от  $1,6 \times 10^{10}$  см/с до  $10^6$  см/с. В связи с этим и возникает вопрос: а сколько времени «живёт» эта промежуточная энергия, пока кристалл не «успокоится», то есть не придёт к своему обычному «зонному состоянию»? И сможет ли «сверхбыстрая» неравновесная энергия генерации достичь контактов? Попробуем обосновать, что это, в принципе, возможно. Прежде всего, необходимо отметить, что при пробеге электрона в кристаллической решётке GaAs, конечно, будет присутствовать угол рассеяния электронов, который характеризуется начальным и конечным сечением процесса  $\sigma$ .

Из работы «Электронная микроскопия и ионная спектроскопия» [1] известно, что начальное сечение процесса  $\sigma$  взаимодействия электрона с решёткой твёрдого тела, зависящее от плотности атомов решётки, атомного веса на глубинах в десятки нанометров от поверхности, составляет  $\sigma \approx 10^{-25}$  м<sup>2</sup> при энергии электрона  $E = 100$  кэВ.

Исходя из того, что в GaAs допустима энергия облучения вплоть до 225 кэВ (см. таб. 1), угол рассеяния электронов в GaAs будет очень мал. Сделаем грубые допущения, что радиационный (плазменный) канал имеет форму конуса от поверхности облучения с верхним сечением  $\approx 10^{-25}$  м<sup>2</sup> до нижнего основания на глубине 50 мкм с радиусом  $r = 5$  нм (то есть площадью сечения  $\pi r^2 \rightarrow 10^{-16}$  м<sup>2</sup> или в миллиард раз большей, чем верхнее сечение). В таком случае в объёме конуса  $V = 1/3 \pi r^2 \times h$  будет сосредоточено  $\approx 19 \times 10^8$  атомов, что при конечной генерации электрона

с  $E = 200$  кэВ составит  $\approx 60\,000$  зонных электронов, а это соответствует уровню легирования  $\approx 10^{18}$  см $^{-3}$  донорной примеси в полупроводнике. На самом деле конус имеет на порядки меньшее нижнее сечение и, следовательно, даже сверхлёгкие электроны с энергиями больше, чем водородоподобная запрещённая зона (энергия ионизации атомов GaAs  $\approx 6,8$  эВ), будут иметь очень большую плотность в плазменном электронно-дырочном канале, стремящуюся к уровню  $> 10^{18}$  см $^{-3}$ . В таком случае, из слабого приближения бета-генерации  $V = \mu E$  скорость сверхлёгких электронов будет не меньше  $10^8$  см/с (в GaAs максимальная «зонная» скорость пролёта электронов –  $2 \times 10^7$  см/с, а подвижность электронов может достигать при энергиях до  $\approx 7$  эВ до половины значения такого «сверхподвижного» полупроводника, как InSb (0,18 эВ). В таком случае возникает вопрос: а как эффективно «собирать» сверхлёгкие электроны в том же СВЧ-диапазоне? И далее: что же с временем пролёта электронов в ОПЗ шириной 50 мкм? Из приведённых рассуждений вы, вероятно, поняли, что поверхность области пространственного заряда в данном случае не является эквипотенциальной, и она в филаментарных объёмах (в субнано/наноскопических объёмах) при уровне плотности «сверхлёгкой» электронно-дырочной плазмы  $> 10^{18}$  см $^{-3}$  составит ширину ОПЗ всего не более 100 нм. Фактически, это – субнано-, нано-плазменный генератор, с другими механизмами скорости пролёта носителей, которые будут близки к временам релаксации в полупроводнике. Как же конструктивно «собрать» такую мгновенную энергию по разные стороны ОПЗ i-слоя GaAs? На первый беглый взгляд есть два варианта. Один из них – на высоколегированные нанослои наносить, например, «прозрачную» для 100 кэВ плёнку металла в несколько десятков нанометров, допустим, плазмодного алюминия. В другом варианте, вероятно, более эффективном, на поверхности i-n- и i-p-областей i-слоя GaAs можно вырастить от 30 нм «собственного» германия, в котором образуется очень плотный 2ДЭГ ( $> 10^{14}$  см $^{-2}$ ), который, обладая прекрасной подвижностью электронов, выполнит необходимую дивергенцию генерируемых зарядов в сверхлёгкой плазме. Напомним, что, в отличие от гетероструктуры Si-Ge, система Ge-GaAs имеет очень хорошее физи-

ческое согласование (по построенной решётке они практически идентичны: по  $a = 0,56$  нм, а по ТКР расхождение составляет  $\approx 1-2\%$ , в то время, как расхождение решёток Si и Ge составляет более 4,0% (что для эпитаксии на грани фолла). По ТКР разница вовсе катастрофическая: почти в 2,5 раза (!), что в итоге скажется на возможности достижения высоких рабочих температур. Необходимо отметить и высокую подвижность дырок в собственном германии  $\approx 2 \times 10^3$  см $^2$ /В  $\times$  с, что почти в два раза выше подвижности электронов в GaN. Сюда же, в качестве положительного показателя, следует отнести и высокую радиационную стойкость Ge к дефектообразованию пар Френкеля  $> 350$  кэВ, а это говорит о возможности расширения выбора высокоэнергетичных изотопов для системы Ge-i-GaAs.

В актив бета-процессов в LPE i-GaAs можно отнести и поглощение квантового излучения рентгеновского диапазона, который имеет угол излучения  $2\theta$ , то есть во всем объёме кристалла полупроводника, прилегающего к плазменному генерационному каналу (не путать с «тормозным» излучением при траектории электрона в ядерном кулоновском поле, которое резко анизотропно и, фактически, является волновым каналом для облегчения пролёта электронов в решётке). Рентгеновские кванты поглощаются достаточно сильно легированной амфотерными атомами кремния или германия решёткой GaAs, допустим, на типовом уровне  $\sim 1 \times 10^{15} - 5 \times 10^{15}$  см $^{-3}$  с энергией ионизации (по водороду)  $\approx 0,7$  эВ, что приведёт к генерации одновременно (!) электронов и дырок (попарно, поскольку это и акцепторные, и донорные примесные центры), идентичной фото-ЭДС-генерации (солнечная фотовольтаика), что также усилит КПД бета-источника питания на основе LPE i-GaAs.

### **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ p-n-ПЕРЕХОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕТА-ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

Известно, что дивергенция тока через равновесный p-n-переход равна нулю, то есть в объёме p-n-перехода генерационный ток уравнивается рекомбинационным. При радиационном воздействии электроном на кристалл мы смещаем равновесие в сторону генерации, но вопрос в том, насколько эффективно. Эффективность зависит от рекомбинационных процессов

как в объёме полупроводника, так и на поверхности, и будет сильно зависеть от времени жизни носителей заряда. Площадь поверхности p-n-переходов в бета-источниках достигает значительных размеров, и токи «обратной» утечки будут резко снижать долю генерируемых электронно-дырочных пар. В этой ситуации очень важно энергетически оптимально связать энергетику поверхности в части резкого снижения плотности поверхностных зарядовых состояний  $N_{ss}/\text{см}^2$  до уровня не выше чем  $10^{11}$  см $^{-2}$ . Во-вторых, необходимо, чтобы эти заряды не «двигались» при высоких рабочих температурах и не усиливали обратный паразитный ток через p-n-переход во время бета-генерации. В-третьих, что исключительно важно, необходимо, чтобы поверхность p-n-перехода была невосприимчива к электронной радиации или, во всяком случае, была бы нивелирована до сверхмалых величин – уровня единиц, максимум десятков фемтоампер. С этой задачей на кремнии неплохо справляется пассивация в виде системы SIPOS (поликремний/оксид/нитрид) или стекла на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{PbO}/\text{SiO}_2$ . На арсениде галлия проблема решается сложнее. GaAs – чрезвычайно энергетически активный материал на границе раздела GaAs-среда. Обеднение молекулами As, мгновенное образование хемосорбных оксидных соединений в атмосфере (до пяти типов оксидов), активная адсорбция – всего, что есть в пограничной среде, делает его поверхность неуправляемой, что, конечно, сказывается на уровне поверхностной рекомбинации зарядов, вплоть до токов практически короткого замыкания. Распространённая практика пассивации полуизолятора GaAs в P-HEMT, MESFET, Ганна-диодах, GaAs SBD на основе нитрида кремния с его плотностью состояний на границе раздела  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{GaAs}$  на уровне от  $10^{13}$  см $^{-2}$  и выше, ни к чему хорошему не приведёт. Это сложная задача, но мы её решили: получили ALD-защиту LPE GaAs p-i-n-перехода, которая гарантирует «темновые» токи на фемтоамперном уровне и, что очень важно, при высоких рабочих температурах, вплоть до  $+300^\circ\text{C}$ . Фактически, это исключительное технологическое достижение, полученное нашими партнёрами по проекту, разработчиками ALD-технологии пассивации поверхности i-GaAs. Это неоценимый результат, открывающий дорогу для новой электронной индустрии.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Толстые слои физического LPE GaAs p-i-n-перехода (50–100 мкм) обеспечивают возможность создания бета-источников с двухсторонней изотопной планаризацией и, следовательно, удвоения и без того высочайшей эффективности бета-преобразования (в СССР в г. Томске при создании СВЧ-приборов для X-диапазона была отлажена технология с GaAs-кристаллами с толщинами  $\approx 60$  мкм).

Для эффективных бета-источников питания необходимы более совершенные, энергоплотные ( $> 50$  мкВт/см<sup>2</sup>) изотопные источники электронов с энергиями до 250 кэВ и с более значительными флюенсами электронов в секунду, по сравнению с <sup>113m</sup>Cd и <sup>147</sup>Pm, конкурирующие с современными РЭМ. Россия обладает исключительно высоким технологическим уровнем производства радиоизотопов (источников бета- и альфа-частиц) в целом ряде ядерных центров и НИИ, химико-технологических комбинатов, с применением реакторных, циклотронных и других технологий.

Вполне возможно, что со временем более эффективной технологией создания микро-АЭС станет бинарное преобразование энергии на основе продуктов распада в виде частиц  $\alpha \rightarrow \beta$  с высочайшей энергетикой и значительно более высокими мощностными характеристиками (до десятков ватт/дм<sup>3</sup>).

Технологии бета-вольтаики на основе LPE i-GaAs с очень высокой вероятностью могут использоваться для терагерцового (СВЧ) генерирования, инфракрасных излучателей (ионизация глубоких амфотерных центров с высокой концентрацией, до  $10^{17}$  см<sup>-3</sup>), а также портативных рентгеновских генераторов (X – тормозное излучение электронов).

Конструкция бета-источника питания на основе LPE i-GaAs патентуется авторами статьи.

## ЛИТЕРАТУРА

- Чеченин Н.Г. Научно-техническая библиотека НИИЯФ МГУ. Курс лекций «Электронная микроскопия и ионная спектроскопия».
- Нагорнов Ю.С. Монография «Современные аспекты применения бетавольтаического эффекта». г. Ульяновск. 2012.
- Revankar Shripad T., Adams Thomas E. Advances in Power Sources. J. Energy Power Sources. Vol. 1. No. 6. 2014. Pp. 321–329.
- Акулишин Ю.Д., Лурье М.С., Пятыйшев Е.Н., Глуховской А.В., Казакин А.Н. Бетавольтаический МЭМС-преобразователь энергии. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2014. № 5(205). С. 35–42.
- Adams Thomas E. Status of Betavoltaic Power Sources for Nano and Micro Power Applications. Purdue University. Nuclear engineering. Global Deterrence and Defence Symposium. Bloomington / Monroe County. Indiana. USA. September. 2011.
- Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н. Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs монокристаллов. Современная электроника. 2014. № 6.
- Гордеев А.И. Электроника как одна из основ национального суверенитета. Силовая электроника. 2014. № 6.
- Tin Steven, Lal Amit. Ultra-High Efficiency High Power Density Thinned-Down Silicon Carbide Betavoltaics. SonicMEMS Laboratory. School of Electrical and Computer Engineering. Cornell University Ithaca. NY. USA. PowerMEMS. 2009. Washington. DC. USA. December 1–4. 2009. ©



## 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

# Тенденции развития аэрокосмических энергетических систем с лазерными каналами передачи энергии

## Часть 2

Александр Сигов, Владимир Матюхин (Москва),  
Владимир Лукин (Томск)

В первой части статьи (см. № 1/2015) были рассмотрены принципы построения лазерных систем для передачи энергии на удалённые объекты через турбулентную атмосферу с помощью зеркала-ретранслятора. Процесс передачи энергии оптимизирует адаптивная оптическая система, корректирующая фазовые искажения пучка, вызванные влиянием атмосферной турбулентности. Во второй части речь пойдёт о структуре и оценке эффективности такой системы. Лабораторные исследования лазерных систем передачи энергии подтвердили принципиальную возможность коррекции турбулентных искажений атмосферы при наведении и высокоточной стабилизации лазерных пучков.

### КОМПЕНСАЦИЯ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ

Как было показано в первой части статьи, решить проблему доставки энергии на стратегически важные наземные, воздушные и космические объекты можно с помощью лазерных систем передачи энергии (ЛСПЭ) путём беспроводной трансконтинентальной транспортировки мощных информационно-энергетических потоков по стратосферным и космическим магистралям над территорией страны.

Возможности ЛСПЭ в значительной мере определяются видом базирования. По поверхности Земли, при использовании нескольких систем ретрансляции стратосферного или космического базирования, лазерное излучение может передаваться на десятки и тысячи километров (см. рис. 1). При передаче энергии лазерного излучения на высотные дирижабельные платформы (высота 20–25 км) для повышения качества пучка (уменьшения расходимости, случайного блуждания и тому подобного) необходимо принимать меры по компенсации фазовых искажений лазер-

ного пучка с использованием технологии силовой адаптивной оптики (САО). Одной из мер является применение в САО деформируемых зеркал, но такая система коррекции мощного лазерного излучения требует решения ряда дополнительных научно-технологических задач чрезвычайной сложности: повышение качества и лучевой стойкости оптических элементов, их охлаждение и другие задачи.

Во всех применениях адаптивных систем ЛСПЭ важнейшим является то обстоятельство, что лазерное излучение должно быть сформировано в пучок, расходимость которого составляет не более  $10^{-6}$  рад. Эта задача также является чрезвычайно сложной, и при её практическом решении обязательным условием является использование тех или иных средств коррекции искажений волнового фронта излучения в оптическом тракте лазера и на трассах распространения излучения. В свою очередь, выбор средств коррекции искажений определяет и архитектуру системы передачи энергии в целом. Основными ограничивающими факторами предлагаемой концепции являются тропосферный слой атмосферы Земли, потери энергии на стратосферных магистралях и на оптических элементах ретранслятора лазерного излучения. Ниже рассмотрены требования, предъявляемые к адаптивным системам ЛСПЭ для восходящих (от поверхности Земли до высотной платформы), нисходящих (от высотной платформы до наземного потребителя) и наклонных (до воздушного или космического потребителя) энергетических магистралей. Для преодоления негативного влияния тропосферного слоя атмосферы Земли можно реализовать многоярусную систему передачи энергии. На первый ярус (высота 6–12 км) с поверхности Земли (или на Землю) энергия передаётся по оптическим волоконным каналам или с помощью СВЧ-излучения,

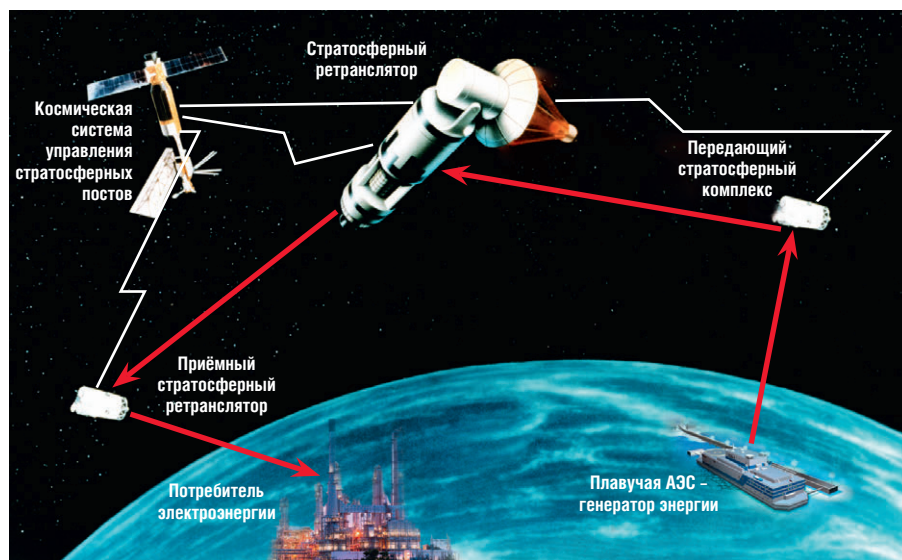


Рис. 1. Схема стратосферной лазерной энергетической магистрали



а на верхний (20–30 км) – с использованием лазерного излучения. Ключевыми элементами лазерных энергетических магистралей являются адаптивные ретрансляторы (см. рис. 2).

Пассивные адаптивные ретрансляторы должны обеспечивать высокоточное наведение лазерных пучков и коррекцию искажений лазерного излучения в них. Активные ретрансляторы, кроме выполнения перечисленных операций, должны восстанавливать потери энергии в лазерных пучках, например, путём пропускания излучения через активные среды с накачкой солнечным излучением.

С использованием нескольких моделей турбулентной атмосферы были выполнены расчёты радиуса когерентности для атмосферных трасс систем передачи (СП) до Земли и оценены частоты Гринвуда – минимальные частоты работы адаптивной системы, при которых ещё имеет место коррекция атмосферных искажений.

Оценки показывают, что при размещении СП на высоте 20 км и перемещении её со скоростью менее 0,5 м/с полоса частот адаптивной системы должна быть в диапазоне 10–60 Гц. Применение адаптивной коррекции позволяет увеличить размер радиуса когерентности примерно в 10–25 раз. Если использовать, например, 5–8 опорных источников, можно увеличить размер зеркал ещё в 2–5 раз (до 15–30 м). В принципе, увеличение размера будет ограничено только размерами самой СП и возможностями её стабилизации. Расчёты показали, что традиционная коррекция с использованием одиночного опорного источника существенно увеличивает эффективность адаптивной коррекции лазерных пучков. Однако для создания когерентной апертуры в несколько сотен метров необходимо провести дополнительные исследова-

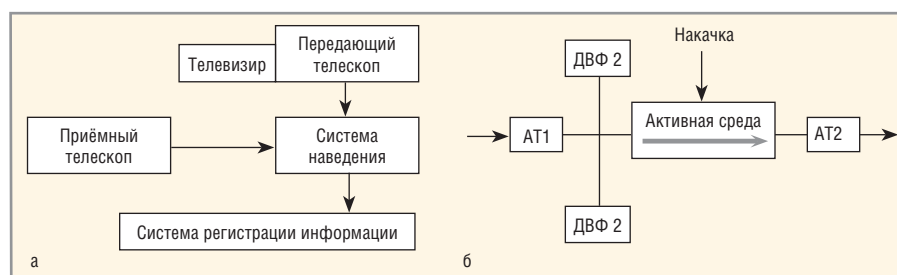


Рис. 2. Схемы адаптивных систем: а – пассивной ретрансляции лазерных пучков; б – активной ретрансляции лазерных пучков

ования по эффективности применения одновременно нескольких опорных источников.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ В АТМОСФЕРЕ

Для оценки эффективности оптико-электронных фазовых систем, таких как астрономические телескопы, лазерные системы передачи данных и тому подобных, необходимо иметь полную информацию о структуре турбулентности в вертикальном разрезе атмосферы. Пока апертура телескопа мала ( $2R \ll L_0^{\text{эфф}}$ ), по сравнению с эффективным внешним масштабом турбулентности, для определения качества формируемого изображения было достаточно сведений о вертикальном профиле  $C_n^2$  структурного параметра атмосферной турбулентности.

Известно, что качество оптико-электронных систем (в том числе и астрономических приборов) характеризуется следующими параметрами:

- интегральным угловым разрешением системы  $\varphi_{\min}$ ;
- параметром Штреля (Strehl) системы  $St$ ;
- дисперсией дрожания изображения  $\sigma_a^2$ .

В вакууме  $\varphi_{\min} \approx \lambda/D$ , где  $D = 2R$  – диаметр апертуры телескопа. Для турбулентной среды  $\varphi_{\min} \approx \lambda/r_0$ , где  $r_0$  – ради-

ус когерентности для плоской волны. Этот радиус определяется структурой оптической трассы и задаётся математическими соотношениями, которые в данной статье не приводятся, но из которых можно вычислить радиус когерентности  $r_0$  по моделям атмосферы. Он определяет интегральное разрешение оптической системы для данного места его стояния следующим образом:  $\varphi_{\min} = 1,22\lambda/r_0$ .

Параметр Штреля с достаточно высокой точностью можно рассчитать по формуле  $St \approx \exp(-\sigma_s^2)$ , где  $\sigma_s^2$  – дисперсия фазовых флуктуаций, для расчёта которой уже требуется знание внешнего масштаба турбулентности.

Приведём результаты расчёта основных характеристик, определяющих флуктуации параметров оптических волн для типично оптико-электронной системы, работающей на восходящих (снизу–вверх) и нисходящих (сверху–вниз) атмосферных трассах. Далее приведены результаты расчётов (см. табл. 1), выполненных для разных величин радиуса когерентности:

- $r_{0,1}$  для восходящих трасс на отрезке трассы с уровня земли до высоты 10 км;
- $r_{0,2}$  для нисходящих трасс на отрезке трассы с высоты 10 км на уровень Земли;
- $r_{0,3}$  для восходящих трасс на отрезке трассы с высоты 10 км до высоты

Таблица 1. Флуктуация параметров оптических волн для оптико-электронной системы

| Модель вертикального профиля турбулентности                                    | $r_{0,1}, \text{М}$ | $r_{0,2}, \text{М}$ | $r_{0,3}, \text{М}$ | $r_{0,4}, \text{М}$ | Используемая волна                                |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------------------|
| Модифицированная модель HV для обсерватории AMOS о. Мауи, Гавайские о-ва       | 0,2013 / 0,2143     | – / 1,2625          | 0,9929 / 1,1402     | 0,1932 / 0,3108     | Плоская / сферическая волна, длина волны 0,53 мкм |
| Модель Гринвуда                                                                | 0,1412 / 0,1588     | – / 0,6698          | 1,1074 / 1,2864     | 0,1385 / 0,1408     |                                                   |
| Модифицированная модель HV Boundary для обсерватории Мауна Кея, Гавайские о-ва | 0,1515 / 0,1715     | – / 0,7142          | 0,6867 / 0,7885     | 0,1446 / 0,0217     | Плоская / сферическая волна, длина волны 1,06 мкм |
| Модифицированная модель HV для обсерватории AMOS о. Мауи, Гавайские о-ва       | 0,4624 / 0,4922     | – / 2,9004          | 2,2810 / 2,6195     | 0,4441 / 0,7139     |                                                   |
| Модель Гринвуда                                                                | 0,3243 / 0,3648     | – / 1,5388          | 2,5442 / 2,9554     | 0,3182 / 0,3236     |                                                   |
| Модифицированная модель HV Boundary для обсерватории Мауна Кея, Гавайские о-ва | 0,3481 / 0,3933     | – / 1,6407          | 1,5777 / 1,8116     | 0,3323 / 0,0497     |                                                   |

100 км (практически, до бесконечности, что соответствует работе с неподнятой платформы по внеатмосферному объекту);

- $r_{0,4}$  для восходящих трасс от уровня моря до бесконечности, то есть по внеатмосферному объекту.

Расчёты выполнены для двух длин волн (0,53 и 1,06 мкм) плоской и сферической волны, что даёт возможность сопоставить два предельных режима – узких и широких пучков. В расчётах использовалось несколько моделей, чаще всего применяемых для наблюдения внеатмосферных объектов на станции AMOS (гавайский остров Мауи и обсерватория Мауна-Кея), а также модель Гринвуда, созданная для условий равнинной местности.

Для учёта зенитного угла наклона трассы введён угол  $\theta$ . Оценки показывают, что для зенитных углов трассы до  $75^\circ$  можно пользоваться приближением «плоской Земли» и рассчитывать зависимость уровня флуктуаций от зенитного угла трассы, как зависимость вида:  $r_{0,1}(\theta) = r_{0,1}(0)\cos^{3/5}\theta$ .

Это позволяет данные таблицы 1, вычисленные для условий распространения в зенит, пересчитать в параметры для трассы с зенитным углом  $\theta$ . Соответствующее увеличение геометрической длины трассы численно равно  $\cos^{-1}\theta$ . В данном случае высота размещения оптической системы на платформе равна 10 км. Расчёты можно провести для любой другой высоты, но они не изменят следующие качественные выводы:

- основной вклад во флуктуации несёт самый нижний 10-километровый слой атмосферы;
- величины  $r_{0,1}$  и  $r_{0,4}$  практически сопоставимы;
- величина  $r_{0,2}$  практически в 5 раз больше величины  $r_{0,1}$ ;
- переход от коротких к более длинным волнам увеличивает радиус когерентности, что уменьшает уровень влияния атмосферной турбулентности на параметры оптического излучения (увеличение радиуса когерентности с увеличением длины волны связано соотношением  $r_0(\lambda_1)/r_0(\lambda_2) = (\lambda_1/\lambda_2)^{6/5}$  для любых трасс);

- восходящие трассы, идущие до высот 10 км, обуславливают примерно в 4–5 раз большие флуктуации для расходящихся волн, по сравнению с нисходящими трассами.

Сопоставим уровень флуктуаций при применении фазовой адаптивной коррекции со случаем, когда фазовая адаптивная коррекция отсутствует. Для этого производится расчёт распределения средней интенсивности в фокальной плоскости установленного на платформе приёмного телескопа в отсутствие коррекции. Далее, используя полученные результаты, можно рассчитать значение параметра Штреля, представляющего собой отношение значения средней интенсивности на оси системы в случайно-неоднородной среде к значению интенсивности в вакууме.

Отметим, что параметр Штреля является одним из ключевых показателей для определения эффективности применения оптико-электронной системы в случайно-неоднородной среде. Этот параметр определяет «проникающую силу» оптико-электронной системы. В астрономии, например, параметр Штреля определяет минимальную светимость звезды, которую в состоянии обнаружить телескоп. Значение параметра Штреля системы при наблюдении через турбулентную среду зависит от величины радиуса когерентности плоской волны. При этом радиус когерентности рассчитывается по толщине случайно-неоднородной среды, в которой распространяется излучение.

Рассмотрим результаты применения адаптивной коррекции с использованием лазерной опорной звезды (ЛОЗ) в виде сфокусированного пучка. Оптическая математические выкладки, отметим, что для поля, формируемого в результате адаптивной коррекции с использованием одной ЛОЗ, находящейся на оси телескопа, получим выражение параметра Штреля для оптико-электронной системы (приёмного телескопа), корректируемого с помощью фокусируемой ЛОЗ, которое претерпит существенное увеличение. Адаптивная коррекция с использованием традиционной сфокусированной

ЛОЗ фактически будет эквивалентна увеличению размера когерентной части апертуры телескопа, численно равной величине  $b$ .

Далее рассчитаем эффект от применения адаптивной коррекции при работе системы с Земли по восходящей трассе. Вычисления сделаны для трёх наиболее применимых моделей и трёх высот формирования ЛОЗ (20, 40 и 100 км) с учётом того, что приёмное устройство размещено на уровне Земли (см. табл. 2). Численные данные показывают увеличение размера когерентной части апертуры системы, обусловленное действием адаптивной коррекции. Например, для различных моделей на высоте 100 км оно составляет от 25 до 27 раз. Иначе говоря, если радиус когерентности для плоской волны составляет, например, 20 см, то традиционная коррекция увеличивает размер когерентной части апертуры телескопа примерно до 5 м.

## СИЛОВЫЕ ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИВЯЗНЫЕ АЭРОСТАТЫ

Для доставки мощного лазерного излучения на привязные аэростаты можно использовать оптическое волокно с сердцевинной из особо чистого обезвоженного кварца.

Конфигурация обычной системы доставки предполагает наличие расширителя пучка, ряда заполняющих зеркал и фокусирующего объектива. Оптика всех перечисленных компонентов достаточно проста, так как все они работают в слабо расходящихся пучках. Размер лазерного пучка в обычных системах доставки обычно существенно меньше линейных размеров оптических элементов, что в значительной мере упрощает процесс юстировки. Кроме того, в обычных системах доставки отсутствуют точки внутренней фокусировки пучка, что позволяет свести к минимуму проблему лучевой прочности.

Конструкция волоконной системы доставки включает систему ввода излучения в оптическое волокно, силовой волоконный световод (СВС) требуемой длины (3–5 км) и формирователь выходного лазерного пучка. Последний работает в расходящемся пучке (величина расходимости характеризуется числовой апертурой волокна). Это упрощает согласование пучка с бортовым фотоэлектрическим преобразо-

**Таблица 2. Эффект от применения адаптивной коррекции при работе системы с Земли по восходящей трассе**

| Высота формирования ЛОЗ, км | Величина $b$ для модели Гринвуда | Величина $b$ для модифицированного профиля Хафнагеля-Стенли | Величина $b$ для профиля США для условий ночи |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 20                          | 6,08                             | 5,19                                                        | 7,07                                          |
| 40                          | 11,32                            | 10,15                                                       | 13,74                                         |
| 100                         | 27,74                            | 25,82                                                       | 27,42                                         |



вателем. Ввод лазерного пучка в сердцевину волокна диаметром 200 мкм предполагает проведение юстировки и требует достаточно сложной и дорогостоящей системы ввода излучения в волокно. Кроме того, при фокусировке мощного лазерного пучка на торец волокна могут возникнуть проблемы, связанные с лучевой прочностью входного (и, соответственно, выходного) торца волокна.

Все распространённые типы волокон характеризуются двумя важнейшими параметрами: затуханием и дисперсией. Затухание характеризует потерю мощности передаваемого сигнала на заданном расстоянии. Есть два принципиально различных физических механизма, вызывающих данный эффект.

Первый – это потери на поглощение. Они связаны с преобразованием одного вида энергии в другой. Электромагнитная волна определённой длины вызывает колебание атомов, из которых состоит кварц, что, в свою очередь, ведёт к нагреву волокна. Фундаментальные частоты колебаний пар Si-O и Ge-O соответствуют длинам волн в области 10 мкм, но, всё же, края полос поглощения простираются до единиц микрон. Поэтому правое ограничение на графике (см. рис. 3) ещё называют фундаментальным инфракрасным поглощением. Естественно, что процесс поглощения волны тем меньше, чем меньше её длина, и чем чище материал волокна.

Второй – это потери на Рэлеевское рассеяние. Причина снижения мощности сигнала в этом случае означает выход части светового потока из волновода. Обусловлено это обычно неоднородностями показателя преломления материалов. Известно, что с уменьшением длины волны потери рассеивания возрастают, более того, они обратно пропорциональны длине волны в четвёртой степени.

Лучших показателей общего затухания можно достичь на пересечении кривых поглощения и рассеивания. Реальность несколько сложнее и связана она, в основном, с водой. Вернее с гидроксильной группой OH. Даже самыми тонкими методами очистки не удаётся полностью избавиться от этой присадки. Принято выделять три окна прозрачности, в рамках которых затухание имеет наименьшее значение. Самые распространённые значения длин волн – это 0,85, 1,3 и 1,55 мкм.



Рис. 3. Окна прозрачности оптических кварцевых волокон

На рисунке 3 видно, что длина 0,85 мкм далеко не идеальна. Однако она очень удобна из-за возможности использовать излучатель из арсенида галлия (GaAs), из которого так же изготавливалась полупроводниковая (электрическая) часть.

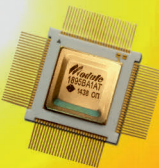
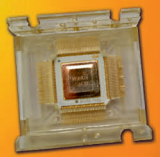
Для эффективной передачи мощного лазерного излучения от источника к объекту потребления энергии в оптическом диапазоне 0,2–2,2 мкм необходимы кварцевые световоды с повышенным диаметром сердцевины (600 мкм и более), с высокой числовой апертурой (до 0,3), низкими оптическими потерями и высокой лучевой прочностью (их называют силовыми). Наиболее перспективными для силовых воло-

конных световодов (СВС) являются высокоапертурные оптические структуры на основе сердцевины из кварцевого световода и кварцевой отражающей оболочки, легированной фтором. Разработка заготовок СВС, удовлетворяющих данным требованиям, проводилась на базе модифицированного PCVD-метода (Plasma Chemical Vapor Deposition). Суммарные потери в кварцевом волокне, изготовленном по технологии PCVD, на длине волны  $\lambda = 1,07 - 1,08$  мкм (для волоконного иттербиевого лазера) составят в этом случае величину порядка 0,8 дБ/км (при длине СВС 3 км общие потери составят величину  $\approx 40\%$ ).



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

## Отечественные микросхемы серий

**1879BA1AT**  
**1895BA2T**  
**1895BA1AT**  
**1879BM5Я**  
**1879BЯ1Я**  
**K1879XB1Я**



<http://www.module.ru>  
e-mail: [rusales@module.ru](mailto:rusales@module.ru)  
тел.: (499)152 9698

Реклама

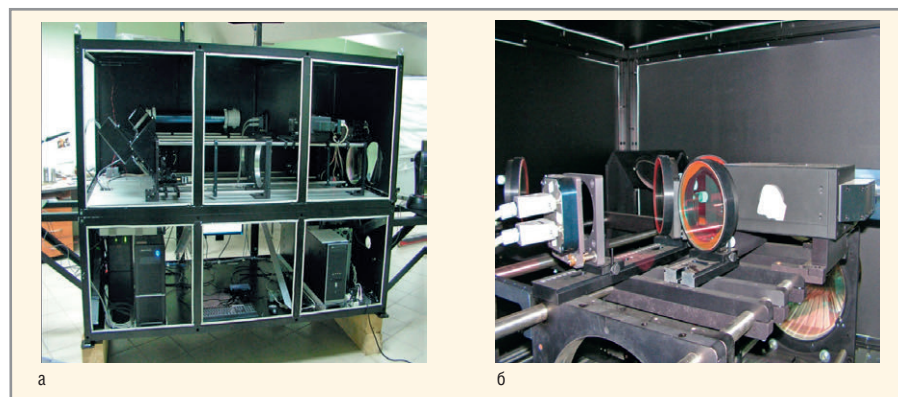


Рис. 4. Силовой оптический ретранслятор: а – общий вид макета; б – адаптивная система ретранслятора

При изготовлении заготовок для вытяжки оптоволокна VAD-методом торцевого осаждения в вакууме (Varor Axial Deposition) концентрация примеси ОН-ионов существенно уменьшается. Спектральная кривая оптических потерь становится более гладкой. При этом общие потери на длине волны излучения мощного волоконного иттербиевого лазера составят  $\approx 0,5$  дБ/км (при длине СВС 3 км общие потери составят  $\approx 30\%$ ).

На сегодняшний день уровень технологий изготовления СВС с фторсиликатной оболочкой позволяет достичь следующих параметров:

- лучевая стойкость ( $\text{кВт/мм}^2$ ) – до 20;
- диаметр сердцевины (мкм) – до 1000;
- длина вытягиваемого из одной заготовки СВС (км) – до 2;
- потери на длине волны  $\lambda = 1,07 \text{ мкм}$  (дБ/км) – 0,5–0,6.

## МАКЕТ СИСТЕМЫ РЕТРАНЛЯЦИИ СИЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ключевым элементом системы дистанционной передачи энергии является силовой оптический ретранслятор (COP). COP обеспечивает приём от наземного комплекса лазерного излучения и последующее наведение пучка на потребителя энергии. Это может быть воздушный, космический или наземный объект. COP должен обеспечить контроль пространственно-энергетических характеристик пришедшего пучка, коррекцию искажений в структуре пучка и высокоточное наведение его на объект (потребителя энергии). Для отработки технологий ретрансляции лазерных пучков был создан макет ретранслятора и проведены его стендовые и трассовые испытания.

Общий вид макета представлен на рисунке 4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система дистанционной передачи энергии позволяет реализовать принципиально новый подход к проблеме глобального энергообеспечения воздушных, космических и наземных объектов. В настоящее время разработаны технологии и элементная база для проведения масштабных натурных экспериментов по дистанционной передаче лазерной энергии на воздушные и космические объекты.

В качестве излучателя лазерной системы передачи энергии по свободному пространству предлагается использовать оптоволоконный иттербиевый лазер с длиной волны излучения 1,07 мкм. Такая система позволит передавать энергию мощностью более 100–600 кВт на стратосферные дирижабли и космические аппараты.

В качестве излучателя лазерной системы при передаче энергии по силовым волоконным световодам на привязные аэростаты с высотой подъёма 3–5 км предлагается использовать эрбиевые лазеры с длиной волны 1,56 мкм мощностью 10–100 кВт.

В качестве приёмников излучения при этом необходимо использовать ФЭП на основе полупроводниковых гетероструктур AlGaAs/GaAs, обеспечивающих эффективность преобразования лазерного излучения (на  $\lambda = 1,08 \text{ мкм}$ ) более 40% в широком диапазоне плотности мощности (0,1–200 Вт/см<sup>2</sup>).

В качестве платформ для ретрансляции лазерного излучения предлагается использовать стратосферные беспилотные дирижабли, способные осуществлять функционирование в течение длительного времени (более 6 месяцев) на высотах 20–30 км.

При проведении стендовых испытаний макета COP показана принципиальная возможность достижения высоких технических характеристик при

стабилизации и коррекции искажений лазерных пучков. Однако для реализации проекта требуется создать принципиально новую элементную базу, включая силовую адаптивную оптику наземной и бортовой системы ретрансляции мощных лазерных пучков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нагатамо М., Сакаси С., Нарую И., Ванке В.А. Успехи Физических наук. 1994. Т. 164. № 6. С. 631–641.
2. Трифонов Ю.М., Андреев В.М., Сысоев В.К., Рыженко А.П. Научно-технические технологии. 2004. Т. 5. № 2–3. С. 8–17.
3. Andreev V.M., Grilikbes V.A., Rumyantsev V.D. Photovoltaic Conversion of Concentrated Sunlight. Chichester: J.Wiley & Sons. 1997. P. 294–300.
4. Takeda K., Tanaka M., Miura S., Hashimoto K., Kawashima K. Laser Power Transmission for the Energy Supply to the Rover Exploring Ice and the Bottom of The Crater in the Lunar Polar Region. Proc. SPIE. 2003. V. 4800. P. 411–419.
5. Канев Ф.Ю., Лукин В.П. Адаптивная оптика. Численные и экспериментальные исследования. Томск. Институт оптики атмосферы СО РАН. 2005.
6. Виноградский Л.М., Кишко В.И., Матюхин В.Ф. Энергообеспечение воздушных и космических объектов на основе технологий дистанционной передачи лазерного излучения. Доклад на конференции «Лазеры в медицине, науке и технике». Г. Адлер. 2008.
7. Матюхин В.Ф., Кишко В.И. Принципы построения адаптивных ретрансляторов для стратосферных систем передачи энергии. Автоматика. СО РАН. Т. 48. № 2. С. 59–67.
8. Сигов А.С., Матюхин В.Ф. Лазерные системы для беспроводной передачи энергии. Альтернативный киловатт. № 6. 2012. С. 21–27.
9. Сысоев В.К., Пичхадзе К.М., Грешило П.А., Верлан А.А. Солнечные космические электростанции – пути развития. ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». МАИ-ПРИНТ. 2013.
10. Лукин В.П., Матюхин В.Ф. Адаптивная коррекция изображения. Квантовая электроника. 1983. Т. 10. № 12. С. 2465–2473.
11. Lukin V. Adaptive System for Laser Beam Formation in Atmosphere with the Use of Incoherent Images as Reference. Journal of Optics. 2013. V. 15. № 4. Art. 044009.
12. Гурвич А.С., Кон А.И., Миронов В.Л., Хмелевцов С.С. Лазерное излучение в атмосфере. Наука. Москва. 1976.
13. Лукин В.П. Некоторые особенности формирования опорных источников. Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. № 12. С. 1021–1028.





# Е•Х•Р•О ELECTRONICA



ufi  
Approved  
Event

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



15–17 марта

**2016**

Москва, Крокус Экспо

**ВСЕ ЦВЕТ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Совместно  
с выставкой



Организаторы:



+7 (812) 380 6003/07/00  
[electron@primexpo.ru](mailto:electron@primexpo.ru)

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



# Оптимизация производства отечественного сапфира

Сергей Малюков, Юлия Клуникова (г. Таганрог, Ростовская обл.)

В настоящее время сформировались две основные области применения сапфира: в качестве конструкционного материала с уникальными механическими характеристиками (микроэлектроника, ювелирное дело, медицина, атомная промышленность) и в качестве оптического материала с не менее уникальными возможностями (линзы, призмы, световоды, лазерные элементы, светодиоды). Выращивание крупных кристаллов сапфира с повышенным структурным совершенством стало первоочередной задачей современной науки и техники.

## ВВЕДЕНИЕ

Наличие современной эффективной отечественной технологической базы по производству монокристаллов сапфира является стратегическим приоритетом и гарантом национальной независимости, технологической и экономической безопасности страны.

Постоянно увеличивающийся интерес к сапфиру обусловлен тем, что он обладает набором уникальных качеств и может удовлетворять высоким требованиям, предъявляемым одновременно к большой группе его свойств. Высокая оптическая однородность и прозрачность в широком диапазоне длин волн, слабое светорассеивание, малые остаточные механические напряжения сочетаются с хорошими механическими, термическими и диэлектрическими свойствами, обеспечивающими работу

сапфировых изделий в условиях высоких температур, давлений, в контакте с агрессивными средами [1].

Подложки из сапфира обладают комплексом определённых физических свойств (высокая температура плавления, химическая и радиационная стойкость, высокая твёрдость и прозрачность), благодаря чему они находят широкое применение в микроэлектронике, квантовой электронике, оптике высокого разрешения и нанотехнологиях. Доля использования таких материалов резко возрастает практически во всех отраслях производства [2].

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ САПФИРА

В течение последних десятилетий для выращивания монокристаллов

сапфира большого размера, используемых для электронной техники, применялись, в основном, четыре метода: горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК), Чохральского, Киропулоса и Степанова (см. табл. 1) [3, 4].

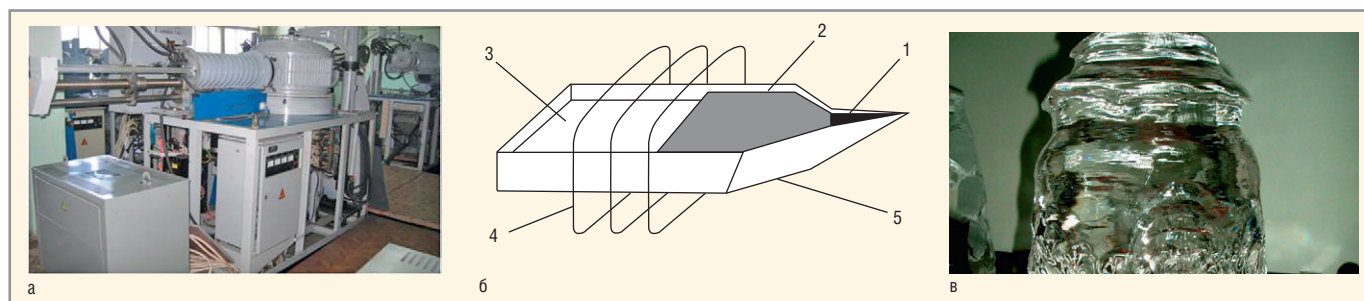
Наиболее перспективными оказались методы выращивания из расплава, позволяющие получать кристаллы сапфира больших размеров при больших скоростях роста по сравнению с кристаллизацией из растворов или газовой среды. Расплавные методы можно разделить на две группы: методы выращивания из малого объёма расплава (методы Вернейля, Степанова и зонной плавки) и методы выращивания из большого объёма расплава (методы Киропулоса, Чохральского, Бриджмена-Стокбаргера, ГНК). В таблице 2 приведены оценочные характеристики монокристаллов сапфира при различных способах выращивания.

Метод ГНК для получения монокристаллов синтетического корунда разработан академиком Х.С. Багдасаровым в институте кристаллографии Российской Академии Наук (Москва). Далее он получил развитие в институте монокристаллов (Харьков, Украи-

Таблица 1. Сравнение методов получения монокристаллов сапфира

| Метод               | Достоинства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Недостатки                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Метод Вернейля      | Отсутствие контейнера и связанных с ним проблем.<br>Однородность распределения легирующих добавок по длине кристалла.<br>Кристаллизация в открытом муфеле с возможностью регулирования окислительно-восстановительного потенциала атмосферы кристаллизации изменением отношения $H_2/O_2$ в пламени.<br>Возможность введения в кристалл большого количества легирующих добавок и возможность выращивания кристалла, части которого имеют разное содержание примесей, рубиновых стержней с сапфировыми наконечниками.<br>Техническая простота реализации и низкая себестоимость кристаллов | Высокие температурные градиенты в зоне кристаллизации (30–100 град/мм), способствующие возникновению в кристаллах больших остаточных напряжений                                                    |
| Метод зонной плавки | Возможность одновременно с выращиванием регулировать содержание примесей.<br>Высокая эффективность.<br>Возможность использования тигельной и бестигельной технологии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Низкая производительность.<br>Большая продолжительность.<br>Высокая стоимость.<br>Максимальные габариты лодочки: длина – 50 см, длина расплавленной зоны – 5 см, толщина 2–3 см                    |
| Метод Чохральского  | Отсутствие контакта со стенками тигля.<br>Достаточно легко можно менять диаметр растущего кристалла и визуально контролировать рост                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Значительная химическая неоднородность выращиваемых кристаллов, выражающаяся в монотонном изменении состава последовательных слоёв кристалла вдоль направления роста.<br>Высокая стоимость         |
| Метод ГНК           | Постоянная площадь расплава.<br>Возможность выращивания монокристаллов большого сечения, эффективное удаление примесей.<br>Возможность проведения многократной предростовой перекристаллизации материала, что способствует глубокой очистке кристаллизующего вещества и позволяет значительно снизить требования к чистоте исходных шихтовых материалов                                                                                                                                                                                                                                   | Наличие контакта выращиваемого монокристалла с контейнером, с чем связано загрязнение расплава и возникновение в кристалле остаточных напряжений, трещин.<br>Небольшая толщина кристалла – до 5 см |
| Метод Степанова     | Высокая скорость отвода тепла позволяет выращивать кристалл на относительно больших скоростях.<br>Высокая производительность.<br>Возможность вырастить сапфировые профили, которые невозможно изготовить механической обработкой                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Высокая плотность структурных дефектов                                                                                                                                                             |





**Рис. 1. Выращивания кристалла сапфира методом ГНК:** а – установка СЗВН 155.320; б – схема выращивания кристалла сапфира методом ГНК (1 – затравка, 2 – кристалл, 3 – расплав, 4 – нагреватель, 5 – контейнер); в – выращенный кристалл

на) и на химическом заводе (Ванадзор, Армения). Метод применяется во многих странах дальнего зарубежья: Швейцарии, Чехии, Словакии, США, Израиле и других.

Отметим, что вопросы роста кристаллов в методах Киропулоса и Чохральского доведены до высокого технологического и технического совершенства и практически исчерпали свои возможности. При этом установилась довольно высокая цена выращенных кристаллов и изделий из них. Снижению цены препятствуют особенности этих методов, главными из которых являются высокая стоимость технически сложного ростового оборудования, технологические трудности при выращивании кристаллов большого диаметра с кристаллографической ориентацией (0001), оптимальной для оптики и оптоэлектроники на основе нитрид-галлиевых структур, и необходимость использования дорогого сырья высокой степени чистоты (99,996%  $Al_2O_3$ ) [5].

Многие из проблем методов Киропулоса и Чохральского не характерны для метода ГНК. Метод ГНК обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами. Он не требует сложного и дорогого оборудования, позволяет выращивать крупногабаритные кристаллы любой кристаллографической ориентации и использовать дешёвое сырьё с более высокой концентрацией примесей благодаря эффективному их испарению в процессе кристаллизации расплава. На протяжении всего процесса роста кристалла высота расплава и его площадь остаются постоянными. Благодаря большой площади расплава обеспечивается эффективное испарение примесей. Процесс затравки и границу раздела фаз можно контролировать визуально или с помощью оптических приборов, что создаёт хорошие предпосылки для автоматизации процесса [6]. Это позволяет

увеличить размеры кристаллов, снизить цены на изделия из них, расширить область использования, в первую очередь, в военной и ракетно-космической технике.

Если раньше в производстве был предпочтителен метод Вернейля, то в настоящее время наравне с ним используют метод ГНК, что позволяет преодолевать многолетний хронический дефицит в кристаллах корунда для таких отраслей техники, как высокотемпературная оптика и микроэлектроника.

### Особенности метода ГНК

В методе ГНК удачно сочетаются элементы направленной кристаллизации и зонной плавки. Если при обычном выращивании из расплава расплавляется вся шихта, то при ГНК между затравочным кристаллом и поликристаллическим агрегатом (шихтой) создаётся локальная расплавленная зона. Кристалл растёт в вакуумной установке при медленном перемещении расплавленной зоны вдоль контейнера с шихтой, имеющего форму лодочки (см. рис. 1).

В этом случае уменьшается время пребывания вещества в расплавленном состоянии, что ослабляет интенсивность термической диссоциации. В то же время ширина зоны такова, что градиент температуры достаточно велик. Это способствует лучшему контролю условий роста, так как при больших температурных градиентах неболь-

шое изменение подаваемой мощности меньше сказывается на постоянстве тепловых условий на фронте кристаллизации, в то время как при выращивании в условиях малых градиентов такое же изменение мощности приводит к нарушению постоянства тепловых условий.

Метод ГНК отличают следующие черты: процесс кристаллизации проходит в контролируемых условиях, температурное поле позволяет выращивать монокристаллы с малыми остаточными напряжениями, что исключает специальный температурный отжиг. Кроме того, можно создать температурное поле необходимой конфигурации, а также вести неоднократные перекристаллизации исходного вещества. Процесс выращивания монокристаллов сапфира методом ГНК состоит из основных и вспомогательных операций. Основные операции включают:

- подготовку аппарата к проведению кристаллизации;
- получение расплава;
- затравку и проведение полного цикла кристаллизации;
- контролируемое снижение температуры и съём монокристалла.

К вспомогательным операциям относятся:

- подготовка исходного материала ( $Al_2O_3$ , чистота 99,997%);
- изготовление и подготовка контейнера;
- наполнение контейнера исходным материалом;

**Таблица 2. Физико-технологические характеристики монокристаллов сапфира**

| Показатели                         | ГНК          | Вернейль       | Чохральский | Киропулос |
|------------------------------------|--------------|----------------|-------------|-----------|
| Оптическая однородность            | Высокая      | Средняя        | Высокая     | Высокая   |
| Плотность дефектов                 | Низкая       | Высокая        | Низкая      | Средняя   |
| Скорость кристаллизации            | Средняя      | Низкая         | Низкая      | Низкая    |
| Внутренние напряжения              | Низкие       | Высокие        | Средние     | Средние   |
| Конфигурация выращенного материала | Пластины     | Були, полубули | Були        | Були      |
| Отжиг                              | Не требуется | Требуется      | Требуется   | Требуется |
| Стоимость                          | Средняя      | Низкая         | Высокая     | Низкая    |

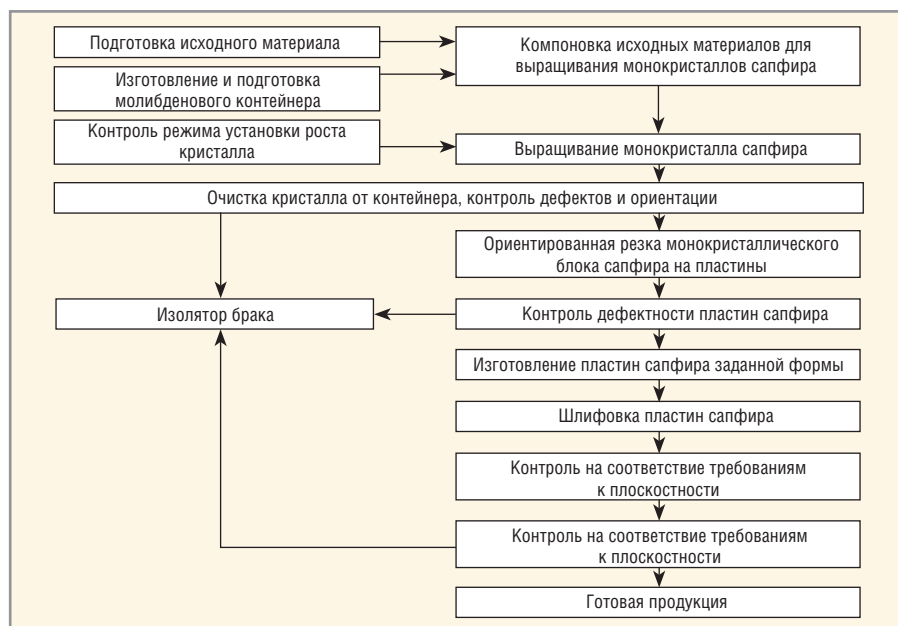


Рис. 2. Технологическая схема производства монокристаллов сапфира методом ГНК и изготовления сапфировых пластин (подложек)

- обработка и установление затравочного кристалла;
- сборка на вольфрамовую рамку системы экранов и контейнера.

Комплексная технологическая схема изготовления пластин-подложек  $Al_2O_3$ , включающая выращивание кристаллов и изготовление подложек, представлена на рисунке 2. Так как для монокристаллов сапфира характерны дефекты типа остаточного напряжения, двойного лучепреломления, блочности и других, то особое внимание необходимо уделять технологическим параметрам роста кристаллов, материалу контейнера, методу его изготовления и чистоте. Контейнер для выращивания сапфира обязательно подвергается специальной очистке, чтобы исключить дефектообразование из-за загрязнений на его поверхности.

### ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ КРИСТАЛЛОВ САПФИРА

Рост монокристаллов сапфира высокого качества (малодислокационных, безблочных, беспористых) или с заданным распределением структурных

дефектов не гарантирует получения изделий, сохраняющих эти качества. При обработке нарушается не только структура поверхности, но и прилегающие к ней области кристалла.

Основными стадиями механической обработки монокристаллов сапфира являются резка, шлифовка и полировка. Операции резки не позволяют получить поверхности кристалла требуемого качества, поскольку имеются погрешности формы (неплоскостность, непараллельность плоскостей, изгиб), значительный нарушенный слой и большие отклонения по толщине. Поэтому для улучшения качества поверхности необходима дальнейшая её обработка с использованием абразивных материалов – шлифовка и полировка. Шлифовка характеризуется шероховатостью поверхности 9–12 класса. Полированные поверхности имеют 13–14 класс шероховатости. Варьируя технологические параметры процессов шлифования и полирования (скорость резания, вид абразива, размер абразивного зерна и так далее), можно управлять

структурой приповерхностного слоя, то есть увеличивать либо уменьшать глубину дефектного слоя. От выбора режимов шлифования и полирования монокристаллических пластин (подложек) зависит долговечность и работоспособность изделий, их оптическая однородность, прочность и ряд других параметров.

Отмечена разная обрабатываемость сапфира, выращенного различными методами. При одних и тех же режимах обработки свободным абразивом в сапфире, полученном методом Вернейля, происходит пластическая деформация и образуется слой толщиной до 15 мкм с повышенной плотностью дислокаций. В кристаллах, выращенных методом ГНК, напряжения релаксируют, в основном, путём хрупкого разрушения. Часто такой слой обнаружить не удастся [7]. При обработке крупным алмазным зерном в кристалле образуется разветвлённая сеть трещин, однако на последующих стадиях обработки трещины удаляются, слой с повышенной плотностью дислокаций не образуется, или его глубина не превышает 5 мкм. Кристаллы, выращенные методом Вернейля, более пластичны, на начальных стадиях обработки число микротрещин и выколов в них меньше, а после окончательной полировки глубина слоя с повышенной плотностью дислокаций больше.

Основными требованиями, предъявляемыми к поверхности подложек, являются шероховатость, глубина нарушенного приповерхностного слоя и геометрические параметры: неплоскостность, прогиб и коробление пластин (TTV, warp, bow). Шероховатость поверхностей регламентируется ГОСТ 2789-73 и соответствующими рекомендациями.

Показатели качества пластин – плоскостность, прогиб и коробление пластин – формируются на технологических операциях абразивной доводки: шлифовки (предварительной) и полировки (окончательной). Для решения этих задач ведущие мировые производители пластин создают собственное оборудование, обеспечивающее технические требования в соответствии со стандартами SEMI M1-0600 и SEMI M3-1296. Для сапфировых пластин  $\varnothing 100$  мм TTV < 10 мкм, warp < 30 мкм, bow < 30 мкм. Требования, предъявляемые к пластинам сапфира, предназначенным для эпитаксии, представлены в таблице 3.

Таблица 3. Требования к пластинам сапфира, предназначенным для эпитаксии

| Параметр                                                    | Значение допуска при диаметре пластины, мм |       |       |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
|                                                             | 76,2                                       | 100,0 | 125,0 |
| Диаметр, мм                                                 | 0,5                                        | 0,8   | 0,8   |
| Толщина, мкм                                                | 15                                         | 15    | 20    |
| Клиновидность, мкм                                          | 8                                          | 10    | 15    |
| Отклонение от плоскостности, мкм                            | 3                                          | 4     | 5     |
| Отклонение от заданной кристаллографической плоскости, град | 0,2                                        | 0,2   | 0,2   |
| Шероховатость поверхности, мкм                              | 0,0025–0,0050                              |       |       |



## ПРИМЕНЕНИЕ САПФИРА

Область применения изделий из сапфира огромна. Из сапфира делают большие оптические окна для космических кораблей, вертолётов и самолётов. Такие же окна применяются в металлургии, атомной и химической промышленности и так далее. В медицине из сапфира изготавливают различного вида имплантаты, скальпели и другие инструменты. Особо широко применяются сапфировые подложки в электронной технике. Большое количество микросхем и других электронных приборов изготовлены на структурах «кремний на сапфире» (например, различного рода датчики высоких давлений и тензорезисторных преобразователей механических величин, выдерживающие большие дозы радиации и работающие в агрессивных средах). Сапфир применяется для производства часовых стёкол и линз, экранов сотовых телефонов, бижутерии, ювелирных изделий и так далее.

В 2008 г. была открыта новая возможность использования сапфира в качестве защиты в конструкциях бронези-

летов, смотровых окон автомобилей, вертолётов, самолётов и ряда изделий военной техники. Первые испытания подтвердили высокую стойкость сапфира к ударной волне [8]. Структура брони представляет собой послойное расположение сапфира, стекла и пластмассы. Конусная пуля, столкнувшись с бронёй, в первую очередь встречается с сапфировым слоем, который меняет форму пули и сплющивает её. Последующие слои предназначены для остановки перемещения цилиндрической пули. Преимущества такой брони очевидны. Броня на основе сапфира толщиной 30 мм способна обеспечить такую же защиту, как бронестекло толщиной в 100 мм.

Такая броня используется достаточно широко. Уже сегодня иллюминаторы космических кораблей делают из стекла на основе сапфира. Сапфир также используют для защиты солнечных батарей от метеоритного дождя и других внешних воздействий в космосе. Основные области применения сапфира показаны на рисунке 3.

Подложки также являются одной из областей конструкционного при-



Рис. 3. Основные области применения сапфира

менения сапфира. В качестве подложек интегральных микросхем, оптоэлектроники, микроэлектроники сапфир даёт возможность решить задачи повышения надёжности и стабильности параметров электронных устройств при работе в жёстких условиях эксплуатации (инертность, радиационная стойкость, высокие и низкие температуры, высокие механические нагрузки, ионизирующие излучения и другие). Подложки используются для эпитаксии полупроводниковых плёнок (Si, GaN, AlGaIn и многих других). Возможность получения сапфировых подложек больших размеров

## UNIST GROUP UNIST BUSINESS CORPORATION

### Ваш гид по электронным компонентам на Тайване!

#### Наши предложения:

- Электронные компоненты: коннекторы, реле, варисторы, термисторы, кабели, ферритовые компоненты, пьезокерамика
- Подложки из AlN / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- Ультразвуковые компоненты (Керамика)

#### Наши услуги:

- Изготовление печатных плат
- Комплексные прямые поставки от заводов – изготовителей
- Поиск компонентов и поставщиков
- Контрактное производство



Офис и производство компании расположены на Тайване, в крупнейшем в мире центре по производству электронных компонентов.

Тесное сотрудничество с местными производителями позволяет предложить Вам оптимальные и выгодные варианты решений Ваших задач!

www.unist.com.tw Email: [info@unist.com.tw](mailto:info@unist.com.tw) Tel: +886-2-2720-4568 Fax: +886-2-2729-1838

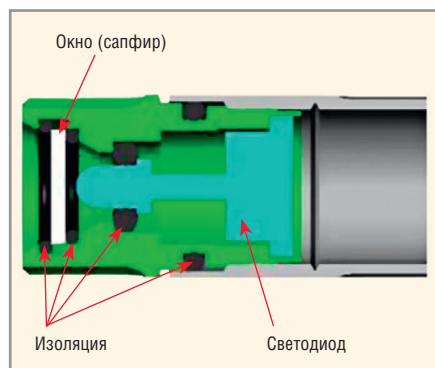


Рис. 4. Светодиод на основе сапфира

позволяет снижать стоимость сформированных на них электронных приборов. В то же время отметим, что высокая твёрдость и химическая стойкость сапфира (см. табл. 4) является серьёзным препятствием при реализации технологии резки слитков сапфира, шлифования и полирования пластин и подложек в промышленном производстве.

## РЫНОК САПФИРА

Рост объёмов поставок изделий из сапфира на рынке за последние несколько лет способствовал активному развитию новых технологий, что привело к интенсивному применению сапфира в электронике и оптоэлектронике. Одно из самых главных применений сапфира на сегодняшний день – это светоизлучающие диоды (СИД). СИД широко используются в панелях телевизоров высокой чёткости, дисплеях компьютеров, в дорожных знаках, светофорах и разных табло, в экранах мобильных телефонов. Развитие также получает использование СИД в энергосберегающих системах общего освещения, так как позволяет экономить около 30% электроэнергии (см. рис. 4). В настоящее время три четверти выпускаемых в мире светоизлучающих диодов производится с использованием сапфира (см. рис. 5).

Большинство светодиодов состоят из нитридов элементов III группы, кото-

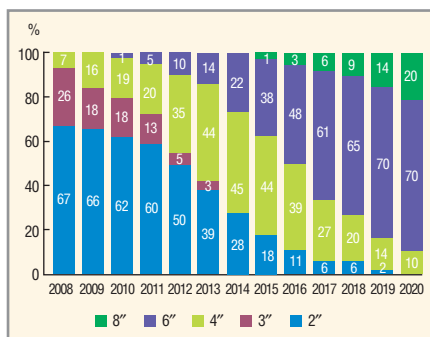


Рис. 5. Тренды использования сапфировых подложек для светодиодов

рые наносятся на сапфировые подложки. Причина этому – особое эпитаксиальное соотношение между нитридами элементов III группы и сапфира, а именно, поворот решётки GaN на 30° по отношению к решётке сапфира позволяет добиться идеальной ориентации кристалла вдоль оси [0001]. Высокая термическая стойкость сапфира позволяет производить очистку подложки перед началом выращивания структуры СИД.

Потребление сапфира после 2010 г. растёт в среднем на 20% в год [9]. Прогноз цен на сапфировые подложки представлен на рисунке 6. Основными потребителями сапфира являются США, Германия, Израиль, Китай, Тайвань, Швейцария, Россия, Чехия и некоторые другие страны. В тройку ведущих мировых производителей сапфира наряду с Россией («Монокристалл», г. Ставрополь) входят японская корпорация Kyocera и американская компания Rubicon Technology. Завод «Монокристалл» – крупнейшая производственная площадка Европы по выращиванию искусственного сапфира для нужд электронной техники. Около 90% производимых в Ставрополе сапфировых подложек поставляются 50 азиатским, европейским и американским компаниям, работающим в электронной промышленности. В 2010 г. доля «Монокристалла» на мировом рынке сапфира составила около 25%.

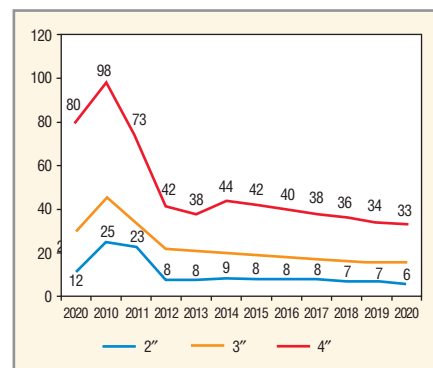


Рис. 6. Прогноз цен на сапфировые подложки (\$)

## Вклад авторов в развитие технологии получения изделий из сапфира

Дальнейшее усовершенствование технологии получения крупногабаритных кристаллов сапфира требует увеличения производительности, снижения её энергоёмкости, повышения качества кристаллов, разработки методов контроля и управления процессами кристаллизации в реальном времени. Для решения данных проблем необходимо исследование тепломассопереноса, поиск методов его контроля и управления, а также исследование закономерностей возникновения дефектов в процессе роста кристаллов.

Авторы обзора развивают технологию выращивания кристаллов сапфира и разрабатывают новые технологии получения изделий из них, создают научно-обоснованные алгоритмы управления процессами кристаллизации из расплава и соответствующее программное обеспечение, повышают качество кристаллов. Исследования ведутся в научных центрах «Лазерные технологии», «Нанотехнологии», в Институте нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета совместно с заводом «Кристалл» (г. Таганрог).

Оптимизация технологии изготовления подложек сапфира решалась на основе сочетания метода аналитического моделирования с экспериментом и технологией экспертных систем. Результаты исследований и программное обеспечение дают достаточно полную информацию о реальной структуре монокристаллических подложек из сапфира. Основными отличиями предлагаемой методики являются:

- использование методов экспертной оценки и планирования эксперимента в ходе построения моделей зависимости выходных параметров (уров-

Таблица 4. Физические свойства подложек сапфира и кремния, используемых для гетероэпитаксиальных плёнок

| Параметр                                                               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                              | Si                            |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Плотность, г/см <sup>3</sup>                                           | 3,98                                                                        | 2,33                          |
| Твёрдость по Моссу                                                     | 9                                                                           | 7                             |
| Модуль упругости, ГПа                                                  | 350                                                                         | 18,9                          |
| Растворимость в воде                                                   | Отсутствует                                                                 | Отсутствует                   |
| Растворимость в кислотах                                               | в HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, HF при t > 300°C | В смеси HNO <sub>3</sub> и HF |
| Растворимость в щелочах                                                | Отсутствует до 800–1000°C                                                   | Растворим при нагревании      |
| Растворимость в расплавах металлов (Mg, Al, Cr, Co, Ni, Na, K, Zn, Cs) | Отсутствует до 800°C                                                        | Растворим                     |



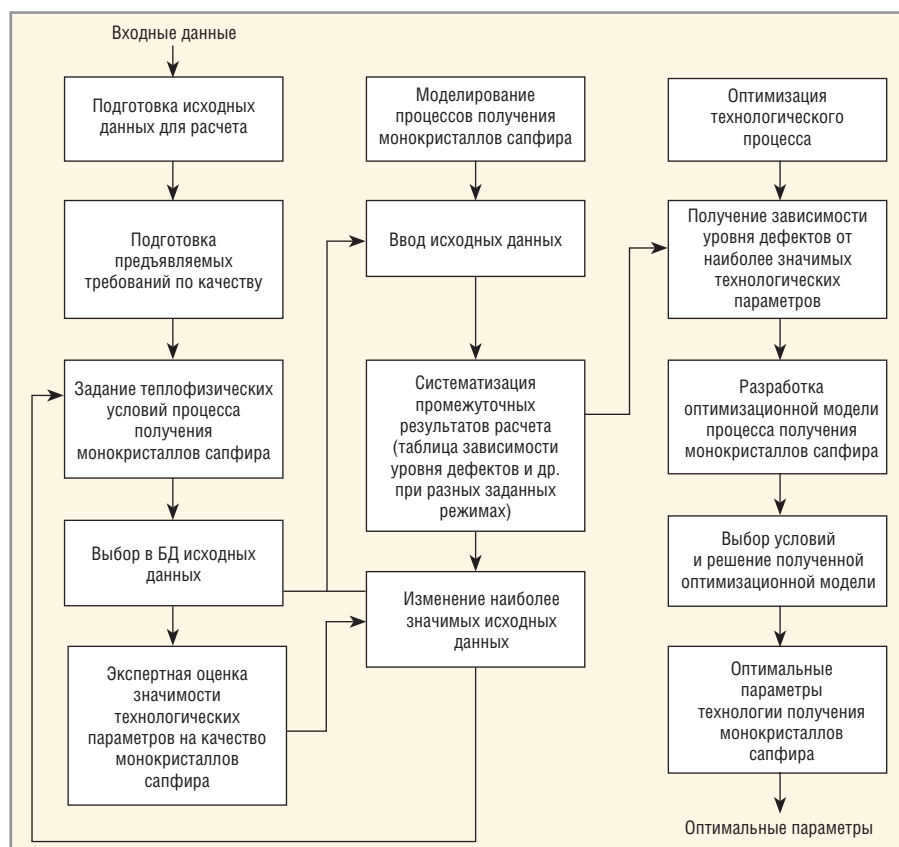


Рис. 7. Алгоритм проектирования математического и информационного обеспечения получения монокристаллов сапфира

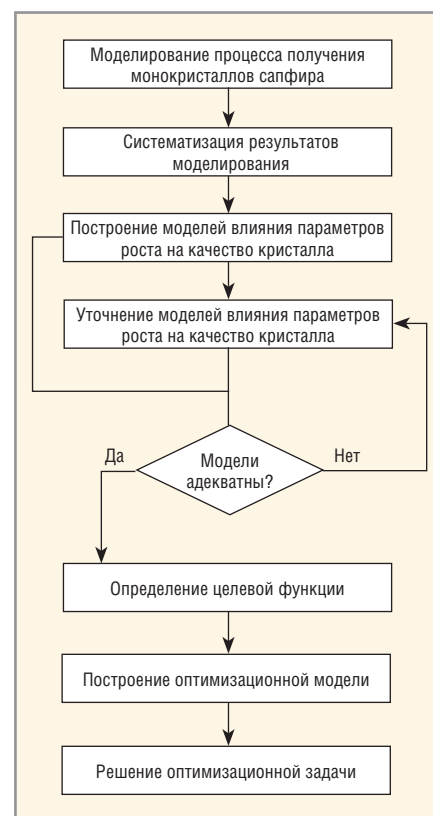


Рис. 8. Алгоритм оптимизации параметров технологического процесса получения монокристаллов сапфира

ни дефектов и так далее) от исходных данных (скорость роста, мощность нагревателя и так далее);

- использование специализированной базы данных процессов роста и обработки кристаллов сапфира, позволяющей более адекватно учитывать особенности технологии;
- комплексное рассмотрение этапов резки, шлифования и полирования кристаллов сапфира;
- получение различных плёнок и покрытий на сапфировой подложке с использованием лазерного оборудования.

В результате была разработана методика проектирования математического и информационного обеспечения получения монокристаллов сапфира и алгоритм её реализации (см. рис. 7), которую можно разделить на три основные части: подготовка исходных данных для расчёта, расчёт параметров и дефектов, оптимизация технологического процесса [10]. После получения данных строятся модели зависимости уровня дефектов от параметров технологического процесса получения монокристаллов сапфира. Заключительной частью является построение оптимизационной модели технологического

процесса. Для этого определяется целевая функция (время, уровень дефектов и так далее) и вводятся ограничения (температуры, дефектов, скорости и так далее). Цели и критерии оптимизации технологического процесса получения изделий из сапфира базируются на ключевых показателях, определяющих эффективность и конкурентоспособность производства: показатели качества монокристаллов сапфира и показатели стоимости технологического процесса.

В современных рыночных отношениях технологический процесс получения изделий из монокристаллов сапфира должен быть направлен на реализацию целевой функции вида  $F(KK, Ц) \rightarrow \text{орт}$ , где  $KK$  – критерии качества получаемых изделий из монокристаллов сапфира,  $Ц$  – цена получаемого изделия. В общем случае качество и стоимость технологического процесса получения монокристаллов сапфира методом ГНК характеризуются множеством параметров  $G = \{p, v, n, q, w, o\}$ , где  $p$  – мощность нагревателя,  $v$  – скорость роста кристалла,  $n$  – степень вакуума,  $q$  – качество шихты,  $w$  – конструктивное исполнение (материал контейнера, материал теплового узла),  $o$  – пространственная

ориентация. Выбор параметров должен предусматривать выполнение следующих условий (задача условной оптимизации):  $p \leq p_0, v \leq v_0, n \leq n_0$ , где  $p_0, v_0, n_0$  – соответственно, мощность нагревателя, скорость роста кристалла и степень вакуума, максимально возможные для технологического процесса получения монокристаллов сапфира.

Алгоритм оптимизации параметров технологического процесса, в котором должны быть получены монокристаллы сапфира, приведён на рисунке 8.

Показатель качества – многогранное свойство изделия. Суммарная количественная оценка показателей качества производится по формуле:

$$y = \sum_{i=1}^n k_n a_n,$$

где  $k_n$  – коэффициенты, учитывающие относительную значимость параметров технологического процесса на качество кристаллов, сумма которых равна 1,  $a_n$  – коэффициенты, учитывающие веса параметров технологического процесса,  $n$  – количество учитываемых параметров технологического процесса.

Далее, используя формулы перевода значений параметров технологического процесса, можно определить

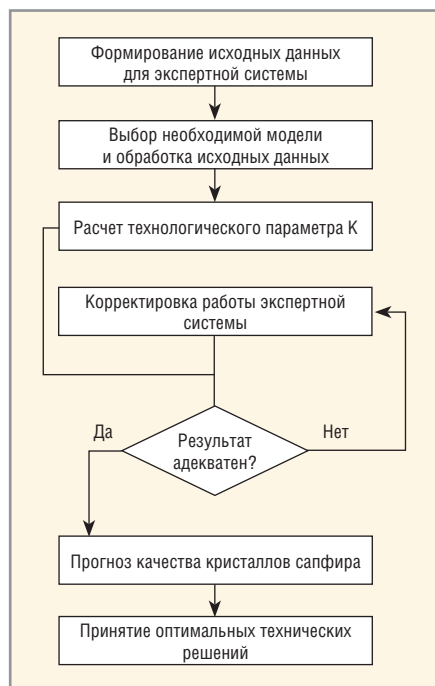


Рис. 9. Алгоритм работы экспертной системы принятия оптимальных технических решений

текущее, минимальное и максимальное значения характеристики, которая показывает влияние параметров процесса на качество кристалла. Диапазон значений параметров, их важность выявлены на основе экспериментальных исследований, проведенных на вышеуказанной установке по росту сапфира методом ГНК. В результате определяется степень соответствия значений реальных параметров процесса расчетным или ожидаемым значениям.

Эти принципы использованы при реализации экспертной системы (ЭС) получения монокристаллов сапфира и изделий из них. Алгоритм работы ЭС позволяет прогнозировать и оценивать качество получаемого кристалла (см. рис. 9). Большие массивы информации систематизированы благодаря тому, что в ЭС присутствуют база данных и база знаний. Подобно структуре нейронных сетей, каждому признаку, в зависимости от влияния его на качество кристалла, присвоен вес, а базу знаний можно расширять по мере выявления новых критериев, влияющих на качество кристалла.

На основе проведенных исследований, разработанных моделей и алгоритмов созданы программные модули (см. рис. 10). В целом разработанное программное обеспечение состоит из следующих модулей:

- база данных кристаллов;

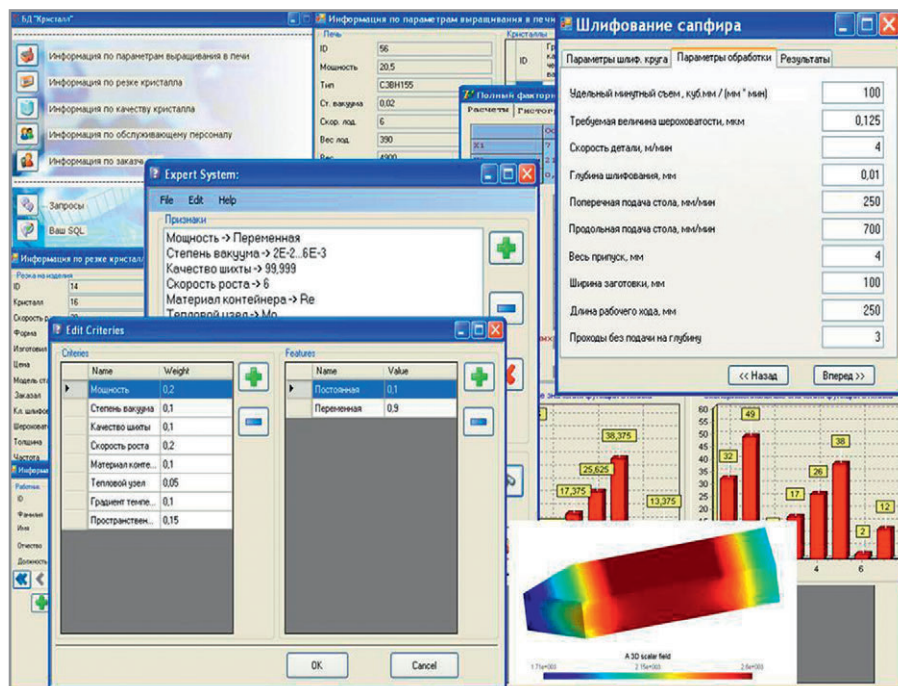


Рис. 10. Интерфейс программы интеллектуальной поддержки при принятии решения в процессе роста и обработки кристаллов сапфира

- база данных параметров их роста и обработки;
  - информационная система, позволяющая определять оптимальные параметры роста и обработки сапфира для получения кристаллов высокого качества;
  - экспертная система, позволяющая оценить исходную технологическую ситуацию относительно базовой, выдать рекомендации по режимам роста и обработки монокристаллического сапфира.
- Программные модули позволяют:
- дать исчерпывающую информацию по кристаллам;
  - упорядочить разрозненную информацию по процессам кристаллизации и обработки;
  - помочь инженеру-технологу в выборе параметров роста и обработки кристаллов;
  - получить математическую модель влияния параметров роста и обработки на качество кристаллов;
  - получить прогноз категории качества кристаллов.

### Модель управления процессом кристаллизации сапфира

Модель управления процессом кристаллизации с контролем и управлением технологическими показателями процесса и физическими параметрами расплава и растущего кристалла может быть представлена как систе-

ма, состоящая из последовательно соединённых звеньев: питающая среда, граница раздела фаз (кристаллизационная зона), кристалл [11]. При этом выходные параметры предыдущего звена являются входными для последующего звена. Управляющее воздействие на звенья процесса осуществляется с помощью элементов кристаллизационного аппарата, таких как нагреватели и приводы технологических перемещений. Система автоматического управления наиболее действенна тогда, когда контроль параметров процесса роста и свойств кристалла производится в ходе технологического процесса. Для этого система должна быть снабжена прецизионными датчиками, способными работать в условиях высоких температур. На практике этого достичь весьма сложно. Поэтому трудность заключается в самом процессе получения информации.

Непосредственное измерение температуры зоны расплава с высокой точностью обычно очень сложно и инерционно. Поэтому использование этого параметра в контуре стабилизирующей системы автоматического управления, который обеспечивает заданную текущую мощность нагревателя, – трудная задача. Чаще всего используется стабилизация и изменение по заданной циклограмме напряжения и тока нагревателя, которые косвенно определяют



температуру в зоне расплава. Кроме того, на температуру в зоне расплава ощутимо влияют температура и скорость потока воды в системе охлаждения элементов печи, окружающая температура, постоянство скорости движения лодочки с шихтой, теплопередача через систему тепловых экранов в камере печи, степень вакуума, однородность шихты по длине и ширине лодочки. На качество кристаллов могут оказывать влияние вибрации форвакуумного насоса и вибрация технологического помещения, в котором находится установка роста.

Таким образом, процесс плавки шихты и роста кристалла в вакуумной печи – многофакторный технологический процесс большой сложности [12]. В связи с этим для успешного проведения технологического процесса роста объёмного лейкосапфира необходимо определить параметры, которые должны быть измерены соответствующими датчиками:

- напряжение на нагревателе печи;
- ток нагревателя;
- скорость вращения двигателя привода лодочки;
- величина линейного перемещения лодочки;
- степень вакуума в камере;
- температура входящей и выходящей воды;
- скорость потока воды;
- температура воздуха в помещении;
- температура кожуха камеры печи;
- сигналы концевых выключателей, тумблеров и тому подобное.

Система управления должна вырабатывать следующие управляющие воздействия:

- управляющее напряжение на вход мощного трёхфазного регулятора;
- сигналы, обеспечивающие работу двигателей электропривода перемещения лодочки;
- сигналы включения звуковых сирен при нарушениях технологического процесса;
- дискретные сигналы для вспомогательных устройств;
- аналоговые сигналы с датчиков ручного управления и тому подобное.

Математическое обеспечение должно осуществлять расчёт оптимального управления регулятором с учётом:

- заданной циклограммы напряжения на нагревателе;
- мощности нагревателя с учётом постепенного выгорания вольфрама;

- поправки на температуру и скорость входящей воды в системе охлаждения;
- поправки на температуру кожуха камеры печи;
- поправки на температуру воздуха в помещении;
- поправки на степень вакуума в камере.

Расчёты должны проводиться вычислительной системой постоянно в течение всего технологического процесса в автоматическом режиме, допуская оперативное вмешательство технолога или оператора ростовой установки. Вмешательство оператора должно быть сведено к минимуму во избежание ошибок, ставящих под угрозу конечный результат технологического процесса. Таким образом, для повышения качества получаемых кристаллов сапфира необходимо глубокое знание не только свойств кристалла, но и основных закономерностей кристаллизации, взаимосвязи условий роста кристаллов и последующих стадий их обработки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие современной эффективной отечественной технологической базы для производства монокристаллов сапфира является стратегическим приоритетом и гарантом национальной независимости. Постоянно увеличивающийся интерес к сапфиру обусловлен тем, что он обладает набором уникальных качеств. Метод горизонтальной направленной кристаллизации используется последние десятилетия для выращивания крупногабаритных монокристаллов сапфира. Он позволяет выращивать кристаллы любой кристаллографической ориентации и использовать дешёвое сырьё. Возможность визуального контроля процесса затравки и границы раздела фаз с помощью оптических приборов создаёт предпосылки для автоматизации процесса роста кристалла. Это позволит увеличить размеры кристаллов, снизить цены на изделия из них, расширить область использования, в первую очередь, в военной и ракетно-космической технике.

Создание интегрированных кластеров на основе производственно-технологических цепочек, охватывающих все технологические операции производства сапфира – от сырья до готовой продукции, позволит производить конкурентоспособную отечественную продукцию и её сбыт на отечественный

и мировой рынок. Темпы такого продвижения существенно возрастут с учётом достижений научно-исследовательских работ в данной области.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Багдасаров Х.С. Высокотемпературная кристаллизация из расплава. М. Физматлит. 2004. С. 160.
2. Малуков С.П., Клунникова Ю.В., Ковалёв А.В., Лаишников А.В. Разработка и исследование математических моделей и алгоритмов оптимизации технологии изготовления подложек для мемристоров. Фундаментальные исследования. № 11. Часть 2. 2012. С. 435–439.
3. Dobrovinskaya E.R., Lytytnov L.A., Pishchik V.V. Sapphire. Material, Manufacturing, Applications. New York. Springer. 2009. P. 481.
4. Cherednichenko D.I., Malukov S.P., Klunnikova Yu.V. Sapphire: Structure, Technology and Applications. New York. Nova Science Publishers. 2013. P. 101–118.
5. Малуков С.П., Клунникова Ю.В. Оптимизация производства изделий из сапфира для электронной техники. LAP LAMBERT. Academic Publishing GmbH & Co. KG (Германия). 2012. С. 151.
6. Malukov S.P., Klunnikova Yu.V., Cherednichenko D.I. Sapphire: Structure, Technology and Applications (chapter: Heat-Physical Processes at the Sapphire Crystals Growth by Horizontal Directed Crystallization). USA. Nova Science Publishers. 2013. P. 101–118.
7. Добровинская Е.Р., Литвинов Л.А., Пищик В.В. Энциклопедия сапфира. Харьков. Институт монокристаллов. 2004. С. 508.
8. Malukov S.P., Klunnikova Yu.V. Advanced Materials (chapter: Complex Investigations of Sapphire Crystals Production). Springer Proceedings in Physics. V. 152. Switzerland. 2014. P. 55–69.
9. Малуков С.П., Нелина С.Н., Стефанович В.А. Физико-технологические аспекты изготовления изделий из сапфира. Lap Lambert Academic Publishing. Германия. 2012. С. 163.
10. Malukov S.P., Klunnikova Yu.V. Investigation of Defects Formation on Different Stages of Sapphire Crystals Growth. 2014. J. Phys.: Conf. Ser. 541 012032. P. 5.
11. Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А. Тепло- и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией. М. Физматлит. 2007. С. 224.
12. Malukov S.P., Stefanovich V.A. and Cherednichenko D.I. Study of Model of Self-Coordinated Growth of Single Crystals of Sapphire by Horizontal Directed Crystallization Semiconductors. 2008. Vol. 42. No. 13. P. 1508–1511.



# Новости мира News of the World Новости мира

## Интернет вещей – мина замедленного действия?

Интернет вещей (IoT) – без сомнения удобен, но безопасен ли? Пожалуй, переломным моментом в безопасности IoT было появление «трояна» для кофеварки, работающей через Интернет. Это событие превзошло все ожидания! Ещё одним переломным моментом было появление чайника с Wi-Fi.

Конечно, интернет-устройства открывают массу новых возможностей. Но одновременно появляются и причины бояться прогресса. Вероятно, производители целых классов интернет-вещей не задумываются о безопасности: большинство поставщиков такой продукции на данном этапе озабочено лишь удобством для пользователей, дружелюбным интерфейсом, скоростью вывода продукта на рынок.

Таким образом, компании торопятся как можно скорее заставить нас купить эти вещи. В результате ваш дом превращается в минное поле. И что дальше? Каждое устройство будет иметь всё более сложное программное обеспечение и сетевые права доступа?

Увеличение количества векторов атаки уже подтверждается широким диапазоном тематических исследований. Скомпрометированная электронная подпись фотоаппаратов Nikon и Canon сулит потерю доверия к тысячам экспертных заключений, сделанных этими фотоаппаратами. Также рискованно доверять радионяням, снабжённым двусторонним аудио, а также двусторонним видеоканалам.

Существует весьма превозносимый термостат Nest от Google – экологически чистое умное решение для отопления. В прошлом году взлом этого устройства занял целых... 15 секунд.

И это ещё не всё. Умные светодиодные лампы были взломаны, позволив хакеру управлять системой освещения. Умные дверные звонки и системы видеозаписи также оказались уязвимыми, что без сомнения весьма интересно для потенциальных воров.

Но самое страшное, что Интернет вещей не ограничивается уязвимостями. Самое страшное, что он может быть использован против нас.

Вспомним телевизоры Samsung, которые, как выяснилось, могут записывать, собирать и передавать всё, что «слышат» их микрофоны, отправляя эту информацию третьим лицам.

Неважно, какая вещь взламывается. Это может быть ваш холодильник, дверь, автомобиль или медицинский робот в больнице или клинике. Все эти устройства могут использоваться для продолжения взлома в мире роботов, упрощая дальнейшие взломы.

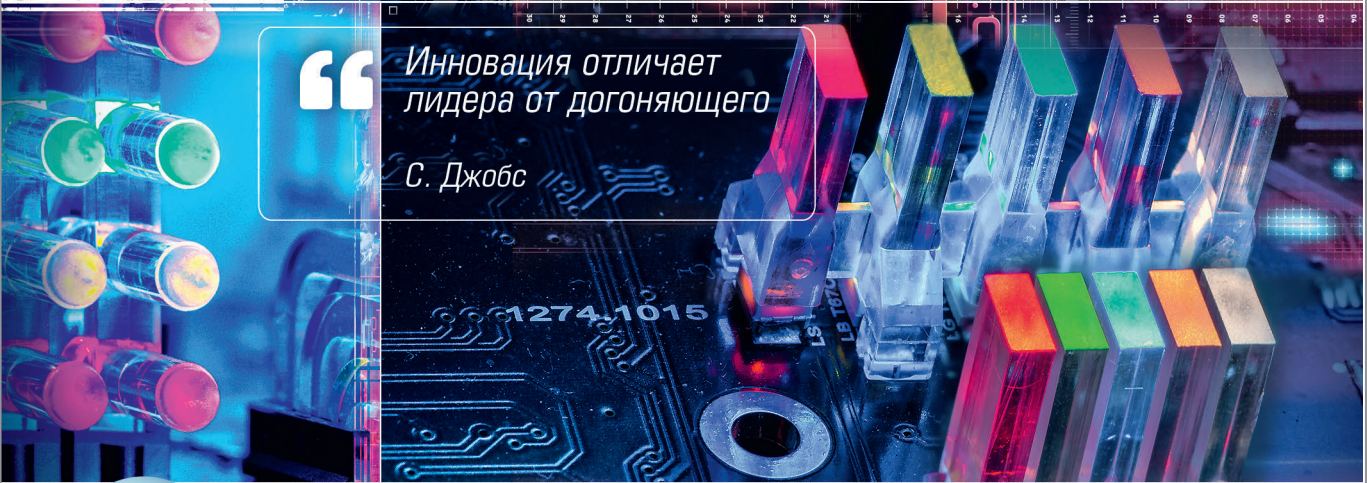
Ещё интереснее соединить полученные обрывки информации для получения целостной картины.

Устройства, использующие Интернет вещей, должны защищаться так же, как компьютеры, телефоны или планшеты, если не строже. Они не должны хранить пароли в виде простого текста, им нельзя позволять собирать данные о вас в коммерческих целях. Потребители должны понимать потенциальные опасности.

**MVP Consumer Security, Microsoft Security Trusted Advisor**



“Иновация отличает лидера от догоняющего”  
С. Джобс



**Светопроводниковые компоненты для SMD- и THT-светодиодов**

- Прямые одиночные светопроводники в прямом и угловом исполнении
- Вертикальные или горизонтальные, однорядные или многорядные светопроводники
- Матрицы светопроводников
- Прозрачное или цветное исполнение корпуса
- Светопроводники с защитой IP68
- Шаг расположения элементов 2,54, 5,08 мм
- Диапазон температур: -40...+85°C
- Возможно изготовление заказных изделий

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ MENTOR**

**ProCHIP**  
POWERED BY ProSOFT

**Активный компонент вашего бизнеса**

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



Реклама

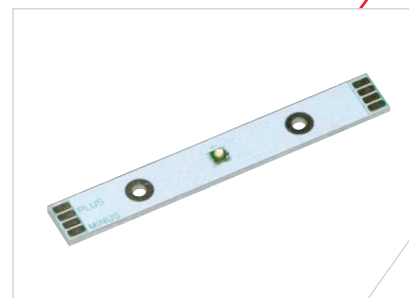




Светодиодные кластеры серии XLD-Line-XP на светодиодах XP-C, XP-E Cree XLamp предназначены для подсветки витрин, карнизов, декоративного освещения, дизайнерской и рекламной подсветки. Широкий ассортимент и возможность деления делают кластеры удобными для реализации проектов любого уровня сложности.

### Преимущества

- Высокий световой поток
- Деление на отрезки
- Коммутация кластеров в линию произвольной длины
- Широкий диапазон рабочих температур  $-40...+70^{\circ}\text{C}$
- Срок службы не менее 50 000 часов



# Создание низкотемпературных аналоговых ИС для обработки импульсных сигналов датчиков

## Часть 3

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

Рассмотрены малошумящие усилители и аналоговые каскады общего применения, оптимизированные для криогенных температур. Приведены схемотехнические решения, рекомендации по выбору размеров полевых транзисторов, режимов работы и сопротивлений, определяющих коэффициенты передачи.

### Малошумящие усилители для криогенных температур

Необходимость размещения всех элементов, а не только «головного» транзистора, при низкой температуре значительно усложняет схемотехнический синтез малошумящего усилителя и требует дополнительного анализа его работы для правильного выбора структуры усилителя, типа применяемых активных и пассивных элементов.

Как отмечалось ранее, зарядочувствительные (ЗЧУ) и трансимпедансные (ТИУ) усилители могут иметь полностью идентичные электрические схемы и отличаться только соотношением активной и реактивной составляющих комплексной проводимости цепи обратной связи (ОС).

Так, на рисунках 1 и 2 приведены упрощённые схемы усилителей, которые могут быть применены как для реализации ЗЧУ, так и ТИУ [1], хотя схема (см. рис. 1) преимущественно применяется в ЗЧУ, а схема (см. рис. 2) – в ТИУ.

Схема рис. 1 предназначена для обеспечения высокого усиления при разомкнутой цепи ОС. Выходной ток

каскада  $J_1, J_2$  ( $V_{G2}$  – постоянный потенциал) поступает в исток n-МОП-транзистора М ( $V_M$  – постоянный потенциал), сток которого соединён с нагрузкой в виде источника тока  $I_1$  и является высокоимпедансным узлом А. Рассматриваемая схема содержит два каскада – обычный на  $J_1, J_2$  и «перегнутый» на  $J_2, M$ . При замкнутой цепи ОС ток стока транзистора М будет равен  $I_1$ , а ток стока  $J_1$  составит  $I_0 - I_1$ , при этом из-за предельно малого тока затвора  $J_1$  входное ( $V_{INP}$ ) и выходное ( $V_{OUT}$ ) напряжение усилителя по постоянному току будет одинаково:

$$\begin{aligned} V_{OUT} = V_{INP} = V_{GS1} &\approx V_{TH1} - \sqrt{\frac{I_{D1}}{BETA}} = \\ &= V_{TH1} - \sqrt{\frac{I_0 - I_1}{BETA}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V_{GS}$ ,  $V_{TH}$  – напряжение затвористок и отсечки полевого транзистора с р-n-переходом (ПТП);  $I_D$  – ток стока;  $BETA$  – коэффициент пропорциональности (удельная крутизна).

При использовании усилителя по схеме на рисунке 1 в виде ТИУ, т.е. при  $C_F \approx 0$ , необходимо учитывать, что при разом-

кнутой цепи ОС передаточная функция (ПФ) усилителя будет содержать два полюса: доминирующий полюс усилителя, определяемый ёмкостью  $C_L$  и суммарным сопротивлением всех параллельных цепей в высокоимпедансном узле А, и полюс на входе INP с постоянной времени, равной  $R_F(C_D + C_{INP})$  [1], где  $C_{INP}$  – входная ёмкость усилителя с разомкнутой ОС. Частоты этих полюсов могут быть близкими, что вызовет колебания на импульсной характеристике при замкнутой цепи ОС. Для устранения колебаний в схему ТИУ параллельно  $R_F$  вводят небольшой конденсатор  $C_F$ . К сожалению, выбор номинала  $C_F$  затруднён тем, что выходное сопротивление транзистора М и транзистора, на котором сформирован источник тока  $I_1$ , зависят от тока  $I_1$  и параметра  $\lambda$  и поэтому имеют технологический разброс.

Трансимпедансный усилитель предпочтительнее реализовать по схеме (см. рис. 2), где  $R_L$  – резистивная нагрузка несколько килоом. Если номиналы RC-элементов выбрать таким образом, чтобы они удовлетворяли условию  $R_F C_F = R_L C_L$ , где  $C_L$  – суммарная ёмкость, шунтирующая  $R_L$  по переменному току, то ПФ ТИУ будет иметь один полюс с постоянной времени  $R_F(C_D + C_F + C_{INP})$  [1]. Заметим, что усиление схемы на постоянном токе при разомкнутой ОС составит  $g_{m1} \times R_L$ , где  $g_{m1}$  – крутизна ПТП  $J_1$ .

Наиболее сложным при проектировании усилителей по схемам (см. рис. 1 и 2) является выбор ширины (W) и длины (L) затвора и режимов работы транзисторов каскада  $J_1, J_2$ , для упрощения которого рекомендуется следующая последовательность работ.

1. Определить ток стока  $I_{D1}$  и отношение  $W/L$  «головного» транзистора  $J_1$  для получения требуемого уровня шума и рассеиваемой мощности. Если усилитель предназначен для работы в диапазоне температур, и приоритетом является стабильность параметров, то ток стока должен соответствовать оптимальному значению  $I_{DOPT}$  при котором

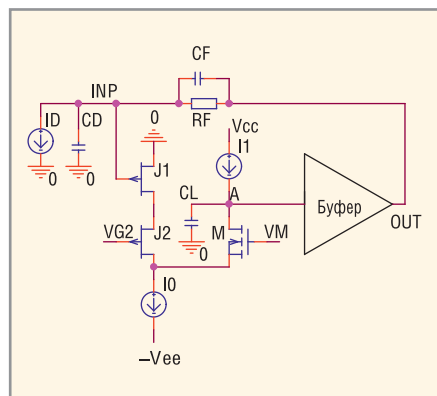


Рис. 1. Упрощённая схема ЗЧУ

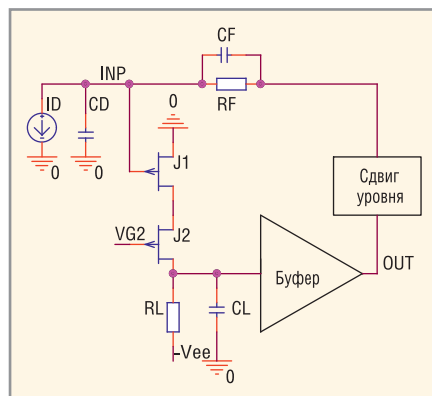


Рис. 2. Упрощённая схема ТИУ



**Рис. 3. Упрощённая схема криогенного ТИУ ( $C_{\text{INF}} = 130$  пФ) для датчиков с ёмкостью до несколько нФ [1]**

**Рис. 4. Упрощённая схема криогенного ЗЧУ для датчиков с ёмкостью до несколько нФ [1]**

**Рис. 5. Включение ЗЧУ по схеме (см. рис. 4) для минимизации уровня шумов [1]**

**Рис. 6. Упрощённая схема криогенного ЗЧУ ( $C_{\text{INF}} = 130$  пФ) для датчиков с ёмкостью до несколько пФ [2]**

**Рис. 7. Упрощённая схема криогенного ЗЧУ для датчиков с ёмкостью до несколько нФ [2], вариант 1**

**Рис. 8. Упрощённая схема криогенного ЗЧУ для датчиков с ёмкостью до несколько нФ [2], вариант 2**

2. Определить ширину  $W$  затвора каскодного транзистора  $J_2$  ( $W_2 < W_1$  при  $L_2 = L_1 = L$ ), чтобы для  $I_{D2} = I_{D1}$  напряжение  $V_{GS2} \approx 0$ .

3. Определить напряжение на затворе  $J_2$  ( $V_{G2}$ ) с тем, чтобы для р-ПТП выполнялось условие  $V_{G2} < -V_{TH} + V_{GS1} + V_{GS2}$ .

На основе приведённых рекомендаций были разработаны малошумящие усилители для криогенных температур с внешними RC-элементами (см. рис. 3–8). Так как параметры ПТП для выбранного технологического маршрута определяются, в основном, отношением длины затвора к его ширине, то на рисунках приведены не только номиналы RC-элементов, но и значения  $W$  и  $L$ .

Схемы, показанные на рисунках 3–8, имеют следующие особенности.

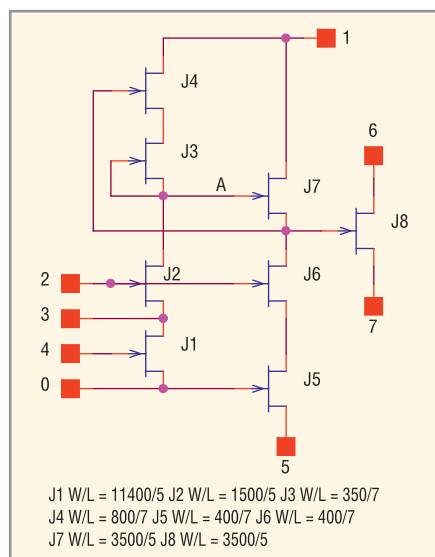
1. Усилитель по схеме на рисунке 3 соответствует упрощённой схеме на рисунке 2. В качестве буферного каскада используются два последовательно соединённых истоковых повторителя  $J_{83}J_6$  и  $J_{93}J_{10}$ , а сдвиг

постоянного уровня напряжения осуществляет делитель  $R_A, R_B$ . В усилителе предусмотрена возможность изменения тока стока и, следовательно, рассеиваемой ТИУ мощности, и крутизны  $J_8$  за счёт включения резистора между истоком  $J_6$  (вывод 4) и его затвором (вывод 13). Как любой однотактный выходной каскад, истоковый повторитель обеспечивает высокую нагрузочную способность только для одной полуволны выходного напряжения, а именно при использовании р-ПТП – для втекающего тока в вывод 9 (отрицательной полуволны выходного сигнала). Увеличению нагрузочной способности по вытекающему току способствует ОС на резистивном делителе  $R_1-R_3$ . Если втекающий в вывод 9 ток уменьшается, то уменьшаются ток стока  $J_9$  и падение напряжения на резисторе  $R_2$ , снижается потенциал затвора  $J_{10}$  и увеличивается его ток стока. Таким образом, на транзисторе  $J_{10}$  реализуется управляемый источник вытекающего тока, величина которого возрастает

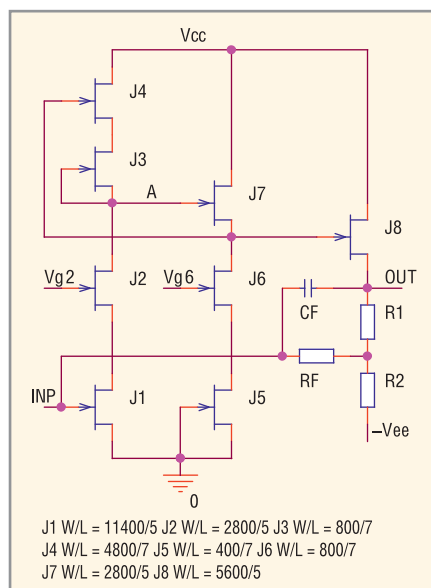
ет с ростом положительной полуволны выходного напряжения.

2. Усилитель по схеме (см. рис. 4) целесообразно применять в качестве ЗЧУ. Он соответствует упрощённой схеме рис. 1: источник тока  $I_0$  сформирован на отражателе тока  $M_1, M_2$ , величина тока в котором устанавливается внешним резистором  $R$ ; источником тока  $I_1$  является каскод  $J_3, J_4$ , причём ток стока  $J_4$  задаёт  $R_c$ ; к высокоимпедансному узлу А подключён буфер – истоковый повторитель на  $M_4, M_5$ , а выход ЗЧУ соединён с  $R_f$  через каскод сдвига уровня – резистивный делитель  $R_1, R_2$ . Регулировка тока стока «головного» транзистора позволяет выбрать оптимальный режим работы для конкретной ёмкости датчика  $C_D$  и требуемого быстродействия канала обработки сигналов  $T_M$ .

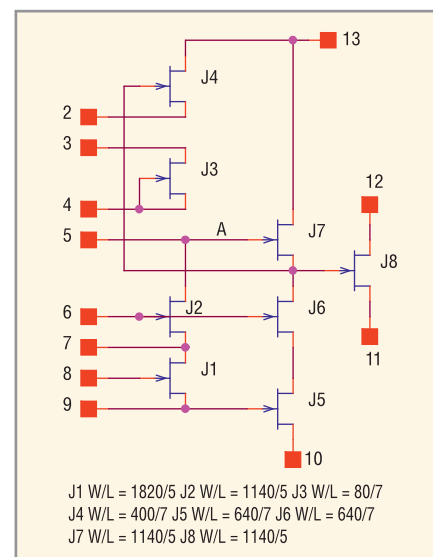
3. Известно, что отражатели тока могут вносить свой вклад в уровень шума усилителей. Обычно для минимизации шума в эмиттерные или истоковые цепи транзисторов отражателей тока включают резисторы. В схеме



**Рис. 9. Упрощённая схема криогенного ЗЧУ типа IPA3 ( $C_{INP} = 60$  пФ) для датчиков с ёмкостью от 100 до 1000 пФ [3–5]**



**Рис. 10. Типовая схема включения ЗЧУ по схеме (см. рис. 9)**



**Рис. 11. Упрощённая схема криогенного ЗЧУ типа IPA4 ( $C_{INP} = 10$  пФ) для датчиков с ёмкостью от 10 до 100 пФ [6]**

(см. рис. 4) это не сделано, поэтому для минимизации её шума источники тока на  $M_2$ ,  $M_3$  на рисунке 5 заменены внешними резисторами. При таком включении уровень шума усилителя определяется, главным образом, входным транзистором.

4. Усилитель, показанный на рисунке 6, является модернизацией схемы (см. рис. 3), оптимизированной для её применения в качестве ЗЧУ: источник тока на  $J_6$  (см. рис. 3) заменён каскодным источником  $J_6$ ,  $J_7$ , вместо резистора  $R$  применена активная нагрузка  $J_4$ ,  $J_5$ . Все р-ПТП, за исключением  $J_4$ ,  $J_{11}$ , имеют  $L = 1,2$  мкм. Транзисторы  $J_4$ ,  $J_{11}$  являются источниками стабильного тока, выходное сопротивление которых повышено за счёт увеличенной до 4,8 мкм длины затвора. Соединение затвора  $J_5$  с истоком  $J_8$  приводит к тому, что активная нагрузка  $J_4$ ,  $J_5$  охвачена следящей ОС, значительно увеличивающей малосигнальное сопротивление активной нагрузки. Диодное соединение  $J_4$  обеспечивает стабильный ток в «головном» транзисторе  $J_1$  и постоянное напряжение затвор-исток  $J_5$ , а диодное соединение  $J_6$  является источником стабильного тока для второго каскада. Каскодный транзистор  $J_7$  значительно увеличивает малосигнальное сопротивление нагрузки в истоковой цепи  $J_8$  для увеличения эффективности следящей ОС. Источник тока на  $J_{11}$  может быть соединён параллельно источнику тока на  $J_4$  для удвоения тока во входной цепи усилителя.

5. Чаще всего ПТП обладают большим технологическим разбросом параметров (напряжения отсечки, максимального тока стока), поэтому использование источников тока в виде диодного включения ПТП приводит к разбросу тока стока «головного» транзистора и разбросу параметров ЗЧУ в целом. В схемах, показанных на рисунках 7 и 8, предусмотрена установка тока стока «головного» транзистора с помощью источника  $I_{REF}$  (в простейшем случае, резистора и источника напряжения), соединённого с входом каскодного отражателя тока на п-МОП-транзисторах. Сдвиг уровня постоянного напряжения осуществляется диодным включением МОП-транзисторов. Назначение остальных элементов на рисунках 7 и 8 рассмотрено ранее.

Криогенные малошумящие усилители на основе р-ПТП, показанные на рисунках 3–8, были созданы в последнее время благодаря появлению технологического маршрута DMILL, обеспечивающего формирование на одной полупроводниковой подложке короткоканальных р-ПТП ( $L = 1,2$  мкм) и МОП-транзисторов. Низкотемпературные ЗЧУ на длинноканальных п-ПТП ( $L > 5$  мкм) были спроектированы и исследованы ранее. Основные схемные решения ЗЧУ на п-ПТП приведены на рисунках 9–16.

Схема ЗЧУ типа IPA3 (см. рис. 9) для датчиков с ёмкостью от 100 до 1000 пФ за исключением буферного каскада идентична схеме на рисунке 6 при замене р-ПТП на п-ПТП. Различные модификации IPA3 заключаются в отдельных

или объединённых выводах затворов  $J_2$  и  $J_6$ , отдельном выводе стока  $J_8$  или его соединении с шиной положительного питания, небольшом отличии ширины затворов транзисторов при сохранении одинаковых параметров «головного» ПТП  $J_1$ , для которого  $C_{INP} = 60$  пФ при  $W/L = 11400/5$  мкм [3–5]. Отдельный вывод стока  $J_8$  используется для суммирования выходных токовых сигналов нескольких ЗЧУ. При соединении стока  $J_8$  с шиной положительного питания в усилителе реализуется рассмотренный ранее буферный каскад со схемой сдвига постоянного уровня напряжения (см. рис. 10). Несмотря на простоту схемотехнического решения, коэффициент усиления напряжения IPA3 в режиме холостого хода превышает 85 дБ [3].

Усилитель IPA4 (см. рис. 11) предназначен для обработки сигналов датчиков с ёмкостью от 10 до 100 пФ и отличается от IPA3, прежде всего, меньшими размерами «головного» транзистора  $J_1$  ( $W/L = 1820/5$  мкм) и расширенными возможностями подключения  $J_3$ . Источник тока на диодном включении транзистора  $J_3$  обеспечивает ток через «головной» транзистор на уровне 600 мкА для уменьшения рассеиваемой мощности усилителя типа «А». При необходимости увеличения тока стока  $J_1$  рекомендуется подключение внешнего резистора  $R_{BL}$ . Ток стока  $J_3$  определяет скорость перезарядки суммарной ёмкости в высокоимпедансном узле А и, следовательно, скорость нарастания выходного напряжения. Если необходимо повысить быстродействие, рекомендуется применить ЗЧУ типа «В» с током перезарядки,



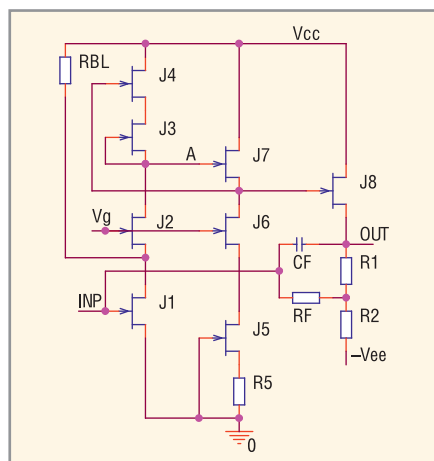


Рис. 12. Схема включения типа «А» усилителя по схеме рис. 11 [6]

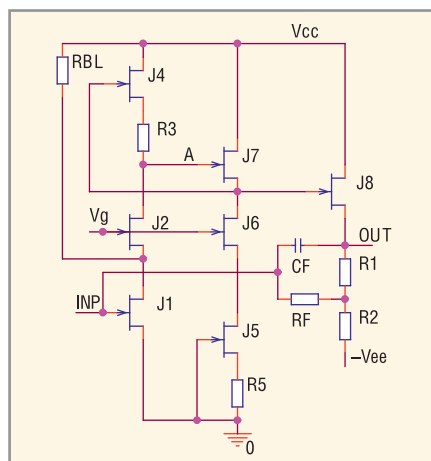


Рис. 13. Схема включения типа «В» усилителя по схеме рис. 11 [6]

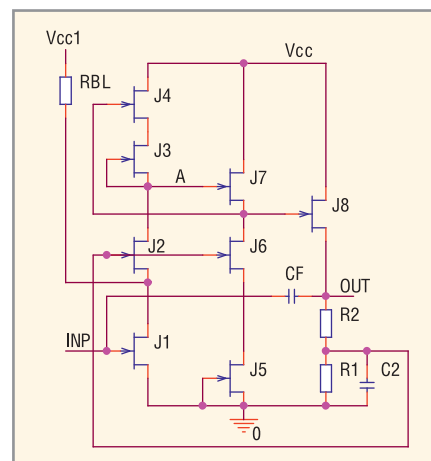


Рис. 14. Включение ЗЧУ типа IPA4 без резистора RF [7]

определяемым резистором  $R_3$ . Таким образом, в ЗЧУ типа «В» можно независимо установить скорость нарастания выходного напряжения (выбором сопротивления  $R_3$ ) и уровень входного шума (сопротивлением  $R_{BL}$ ). Заметим также, что в усилителе IPA4 возможно соединение стока  $J_2$  с чисто резистивной нагрузкой при реализации ТИУ.

Для уменьшения уровня шума предназначено включение усилителя IPA4 (см. рис. 14) со схемой компенсации входного тока за счёт прямого смещения p-n-перехода затвор–исток «головного» ПТП [7]. Транзистор  $J_1$  работает при токе, превышающем максимальный ток стока, что возможно только в случае прямого смещения перехода истока. Как показали экспериментальные исследования, компенсация входного тока позволяет исключить резистор  $R_p$ , что обеспечивает значительно меньший уровень эквивалентного шумового заряда при временах пика, превышающих 6 мкс при  $C_D = 0$  [7].

### Аналоговые каскады общего применения для криогенных температур

Типовой канал аналоговой обработки сигнала датчика содержит не только ЗЧУ или ТИУ, но и многокаскадный полосовой фильтр. Хотя фильтр можно реализовать на малошумящих усилителях, применяемых в ЗЧУ/ТИУ, но во многих случаях лучшее сочетание параметров и энергопотребления достигается при использовании ИС общего применения, – операционных усилителей, дифференциальных преобразователей напряжение–ток (Operational Transconductance Amplifier, OTA) и двухтактных буферных каскадов. Некоторые схемотехниче-

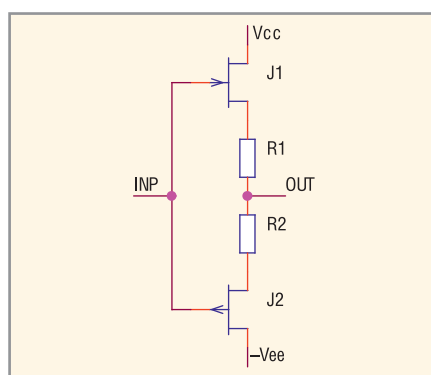


Рис. 15. Буферный каскад на комплементарных ПТП [8]

ские решения указанных аналоговых устройств, работоспособные при низких температурах, рассмотрены далее.

Буферный каскад (см. рис. 15) на комплементарных ПТП [8] представляет собой аналог двухтактного эмиттерного повторителя на транзисторах, работающих в классе АВ. Выбором соотношения резисторов  $R_1/R_2$  можно установить выходное напряжение, равное нулю, при отсутствии входного сигнала  $V_{OUT} = V_{INP}$ . Этот режим работы описывают выражения

$$I = \frac{V_{GS1}}{R_1} = \frac{V_{GS2}}{R_2}, \quad (2)$$

$$V_{GS1} = V_{TH1} \left( 1 - \sqrt{\frac{I}{I_{SDMAX1}}} \right), \quad (3)$$

$$V_{GS2} = V_{TH2} \left( 1 - \sqrt{\frac{I}{I_{SDMAX2}}} \right), \quad (4)$$

где  $I_{SDMAX}$  – максимальный ток стока ПТП.

Если буферный каскад должен обеспечить высокую нагрузочную способность, то транзисторы  $J_1$  и  $J_2$  должны иметь большую крутизну, которая обеспечивается за счёт увеличения отношения  $W/L$ . Однако такие транзисторы обладают значительной входной ёмкостью, которая непосредственно соеди-

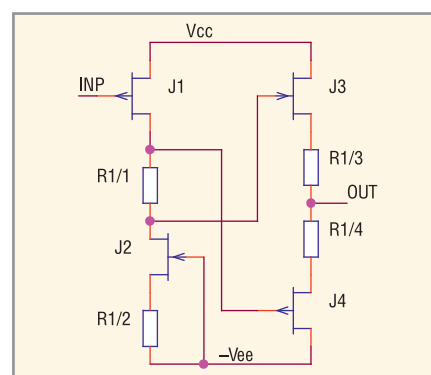


Рис. 16. Буферный каскад с малой входной ёмкостью [9]

нена с входом буфера INP и снижает быстродействие. Поэтому в широкополосных аналоговых ИС рекомендуется применение буферного каскада с малой входной ёмкостью (см. рис. 16) [9].

На рисунках 17 и 18 показаны источники напряжения, управляемые напряжением (ИНУН), которые при подключении между входом INP и шиной нулевого потенциала резистора  $R_{IN}$  выполняют функцию источников напряжения, управляемых током (ИНУТ). Для работы схемы на рисунке 17 необходима идентичность параметров транзисторов  $J_1$  и  $J_2$ ,  $J_4$  и  $J_5$ , а также равенство сопротивлений резисторов  $R_{1/1} = R_{1/2}$ ,  $R_{4/1} = R_{4/2}$ , при этом [8]

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_3}{R_2}. \quad (5)$$

Источник, реализованный по схеме (см. рис. 17), можно применять в качестве усилителя напряжения со стабильным усилением, ориентировочно не превышающем 100 В/В, а 1% погрешность коэффициента усиления обеспечивается при  $R_2 \geq 100R_1$ .

Условиями работоспособности схемы (см. рис. 18) являются: идентич-

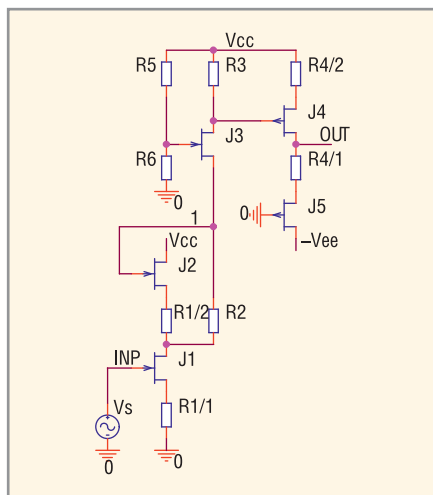


Рис. 17. Источник напряжения, управляемый напряжением положительной полярности [8]

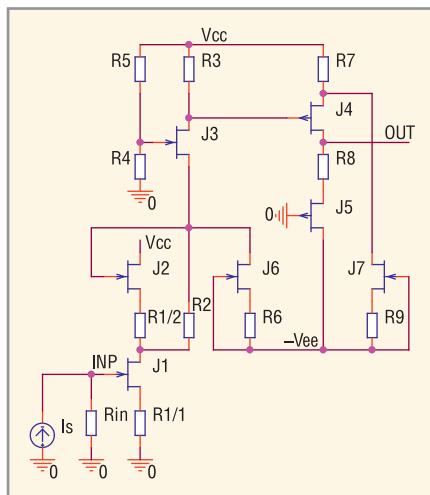


Рис. 18. Источник напряжения, управляемый биполярным входным током [8]

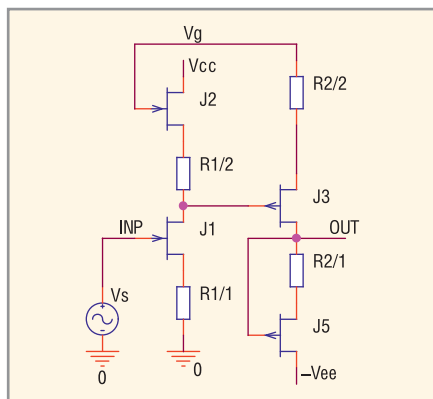


Рис. 19. Источник вытекающего тока, управляемый напряжением [8]

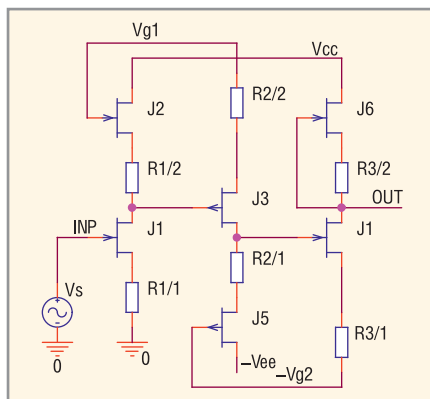


Рис. 20. Источник втекающего тока, управляемый напряжением [8]

ность параметров  $J_1$  и  $J_2$ ,  $J_4$  и  $J_5$ ,  $R_{1/1} = R_{1/2}$  и выполнение условия [8]

$$\frac{R_9}{R_6} = \frac{R_7}{R_3} \quad (6)$$

При выполнении условия (6) коэффициент преобразования входного тока  $I_{IN}$  в выходное напряжение будет равен

$$\frac{V_{OUT}}{I_{IN}} = R_{IN} \frac{R_3}{R_2} \quad (7)$$

а при удалении резистора  $R_{IN}$  коэффициент усиления напряжения составит

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_3}{R_2} \quad (8)$$

Усилительные схемы ОТА широко применяются при синтезе различных типов фильтров. К ним предъявляются следующие основные требования:

- бесконечно большой входной импеданс;
- бесконечно большой выходной импеданс;
- постоянный коэффициент преобразования входного напряжения в выходной ток в широком диапазоне сигналов;
- бесконечно малый входной ток;

- бесконечно малое выходное напряжение при отсутствии входного токового сигнала, т.е. малый входной ток смещения (аналог напряжения смещения ОУ);
- температурная и временная стабильность коэффициента преобразования.

На рисунках 19 и 20 показаны источники тока, управляемые напряжением (ИТУН), которые отличаются от ОТА, в основном, тем, что имеют один вход, на который поступает напряжение относительно шины нулевого потенциала – «земли», в то время как входным сигналом ОТА является напряжение между двумя входами.

Для схемы на рисунке 19 коэффициент преобразования составляет [8]:

$$I_{OUT} \approx \frac{V_{IN}}{R_2}, \quad (9)$$

а для схемы на рисунке 20:

$$I_{OUT} \approx -\frac{V_{IN}}{R_3}. \quad (10)$$

Сравним источники напряжения, управляемые током (см. рис. 19 и 20) с идеальным ОТА.

1. Входным импедансом схем является сопротивление обратно смещённых p-n-переходов, которое определяется размерами ПТП и может быть сделано очень малым, если не предъявляются повышенные требования к крутизне «головного» транзистора.
2. Выходной импеданс источников – выходной импеданс двух параллельно соединённых ПТП. Для увеличения выходного импеданса целесообразно применять каскодное соединение ПТП.
3. Диапазон входных сигналов определяется, главным образом, напряжением отсечки применяемых ПТП и составляет от  $\pm 1$  до  $\pm 6$  В. Диапазон выходных токовых сигналов определяется сопротивлением преобразующего резистора  $R_{CONV}$ . В идеальном случае

$$I_{OUT} \approx \pm \frac{V_{IN}}{R_{CONV}}. \quad (11)$$

В реальном случае на коэффициент преобразования влияет крутизна ПТП:

$$I_{OUT} = \pm \frac{V_{IN}}{R_{CONV} + \frac{1}{g_M}}. \quad (12)$$

Для обеспечения высокой линейности преобразования, т.е. независимости коэффициента преобразования от уровня входного (выходного) сигналов, необходимо, чтобы  $R_{CONV} \gg 1/g_M$ .

4. Входным током источников напряжения является ток обратного смещённого p-n-перехода, который обычно удваивается при увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$  и поэтому крайне мал при криогенных температурах.
5. Из-за технологического разброса параметров ПТП, для уменьшения входного тока смещения необходимо применять подстройку сопротивлений резисторов выходного каскада.
6. Температурная стабильность может быть обеспечена работой всех ПТП при одинаковой температуре и оптимальном токе стока.

## Выводы

Низкотемпературные ИС находят применение в разных областях: космической аппаратуре, ядерной электронике, научном приборостроении, криогенных измерительных и медицинских приборах, приборах для исследований Арктики и Антарктики.

Одним из важнейших направлений низкотемпературной электроники является создание малощумящих аналоговых ИС для обработки импульсных сигналов датчиков с использова-



нием в качестве «головного» элемента кремниевый полевой транзистор с р-п-переходом, обеспечивающего наименьший уровень шума.

Функционально завершённый канал аналоговой обработки импульсных сигналов датчиков содержит малошумящий усилитель, включённый по схеме зарядочувствительного или трансимпедансного усилителя, и полосовой фильтр.

В наиболее распространённом канале обработки сигналов датчиков «головной» транзистор малошумящего усилителя, элементы его цепи отрицательной обратной связи и датчик находятся при криогенной температуре, а остальные элементы – при комнатной. Такие усилители с охлаждаемым «головным» транзистором обычно реализуют в виде «перегнутого» каскода, обобщённая схема которого приведена в статье.

При необходимости размещения всех элементов канала, а не только «головного» транзистора, при низкой температуре, например в космической аппаратуре, синтез малошумящего усилителя и аналоговых каскадов общего применения осуществляют чаще всего на одном типе активного элемента –

полевом транзисторе с р-п-переходом и каналом р- и/или п-типа.

В статье приведены и проанализированы схемотехнические решения, направленные на улучшение параметров усилителей, выполненных на полевых транзисторах с р-п-переходом: каскодное включение транзисторов, активная нагрузка в виде различного соединения полевых транзисторов, следящие обратные связи, истоковые повторители с увеличенной нагрузочной способностью.

Рассмотренные схемы и сформулированные рекомендации по выбору типа активных элементов и режима их работы могут быть использованы при разработке малошумящих усилителей для криогенных температур.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ardelean J.* On the Noise Behaviour of DMILL Charge and Current-Sensitive Preamplifier Architectures. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. A406. 1998. P. 127–138.
2. *Ardelean J.* Preamplifiers for Room Temperature and Cryogenic Calorimetry Applications Based on DMILL Technology. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. A376. 1996. P. 217–224.

3. *Radeka V.* Monolithic Preamplifier Employing Epitaxial N-Channel JFETS. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. A326. 1993. P. 77–81.
4. *Radeka V.* Monolithic Junction Field-Effect Transistor Charge Preamplifier for Calorimetry at High Luminosity Hadron Colliders. IEEE Transactions on Nuclear Science. Vol. NS-40. No 5. 1993. P. 1321–1324.
5. *Radeka V.* JFET Monolithic Preamplifier with Outstanding Noise Behaviour and Radiation Hardness Characteristics. IEEE Transactions on Nuclear Science. Vol. 40. 1993. P. 744–749.
6. *Manfredi P.F.* JFET-Based Monolithic Preamplifiers for Spectrometry Applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Vol. A380. 1996. P. 308–311.
7. *Manfredi P.F.* Monolithic JFET Preamplifier with Nonresistive Charge Reset. IEEE Transactions on Nuclear Science. Vol. 45. 1998. P. 2257–2260.
8. *Black G.G.A.* A JFET Circuit for Instrumentation Applications. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. 22. 1973. P. 2–8.
9. *Forssell F.* A Simple Class A JFET Operational Amplifier. [www.forsselltech.com/media/attachments/JFET\\_Opamp.PDF](http://www.forsselltech.com/media/attachments/JFET_Opamp.PDF).



# ProCHIP

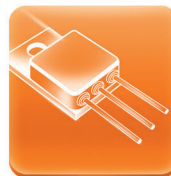
POWERED BY PROSOFT

## Активный компонент вашего бизнеса

- + Различные решения по подбору элементной базы
- + Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- + Поддержка склада
- + Оказание технической и информационной поддержки



+7 (495) 232-2522  
INFO@PROCHIP.RU  
WWW.PROCHIP.RU



Реклама

BBULGIN

Grayhill

HARTING  
Pushing Performance

SHARP

anadigm

International  
IOR Rectifier

MPS

SEMILEDS

RFHIC  
www.rfhic.com

CREE

LUMINEQ  
POWERED BY "E" ENECO  
Previously known as Philips St. Raphael

AUO

XP XP Power

MICROMETALS

APBEOC

RAYSTAR  
OLED Display Provider

PHILIPS  
LUMILEDS

# Современные МЭМС-продукты компании Analog Devices

## Часть 1

Юрий Петропавловский (г. Таганрог, Ростовская обл.)

В статье рассмотрена история создания микросхем с интегрированными МЭМС компании Analog Devices. Приведены параметры и рассмотрены особенности современных аналоговых и цифровых акселерометров и гироскопов, выпускаемых компанией.

Компания Analog Devices (г. Норвуд, штат Массачусетс, США), отметившая в этом году 50-летний юбилей, известна своими прецизионными операционными усилителями (ОУ), АЦП/ЦАП, цифровыми сигнальными процессорами и многими другими аналоговыми и цифровыми микросхемами. Однако в ассортименте компании представлены и интегральные продукты на основе технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС, в США – MEMS, в Европе MTS – устройства микросистемной технологии).

Компания Analog Devices, Inc (ADI) была основана в 1965 г. в городе Кембридже (штат Массачусетс, США) выпускниками Массачусетского технологического института (MIT) Рэймондом Стата (Raymond S. Stata) и Мэтью Лорбером (Matthew Lorber). Первыми продуктами компании были модульные операционные усилители Model 101/102/103, собираемые вручную из дискретных электронных компонентов.

Модульные ОУ компании отличались высокой повторяемостью и минимальным разбросом основных параметров – токов и напряжений смещения и сдвига, малыми температурными

коэффициентами. Это давало возможность применять их в качестве усилителей сигналов датчиков физических величин (температуры, освещённости и других) для проведения точных измерений. В то время клиентами компании были производители специальной, космической и военной электроники, а также измерительной техники, для которых требовались устройства отображения измеряемых величин в цифровом виде.

В 1969 г. ADI приобрела одного из лидеров рынка в деле производства преобразователей данных – компанию Pastoriza Electronics. Первыми преобразователями, выпущенными отделением Pastoriza Division of Analog Devices, были АЦП последовательных приближений – 10-разрядный ADC-F и 12-разрядный ADC-U. В начале 1970-х гг. компания разработала первые монолитные тонкоплёночные 12-разрядные АЦП ADC-12QM, внешний вид которых показан на рисунке 1. Первым сравнительно дешёвым и промышленно стандартизированным 12-разрядным АЦП общего назначения, выпущенным на рынок, был ADC-12QZ (1972 г.). В преобразователе использовались интегральные



Рис. 1. Первый АЦП ADI – ADC12QM

блоки с четырёхразрядным ключом (Quad-Switch) и прецизионные тонкоплёночные резисторные матрицы для внутренних ЦАП.

Разработка и производство ОУ, АЦП и ЦАП в компании успешно развивались, однако многие клиенты компании были заинтересованы в интегральных решениях, объединяющих датчики физических величин с ИС усиления и преобразования сигналов. Среди множества типов датчиков, используемых для измерения параметров движения и пригодных для интеграции в микросхемы, выделяются датчики на основе микроэлектромеханических систем. Работы в этом направлении в середине 1980-х гг. проводила группа инженеров под руководством Доктора Ричарда Пэйна (Dr. Richard Payne) из отделения MEMS Division of Analog Devices, что в городе Уилмингтон (штат Массачусетс, США). Первым МЭМС-продуктом, прототип которого компания представила в 1989 г., был интегральный акселерометр ADXL50, предназначенный для систем активации подушек безо-

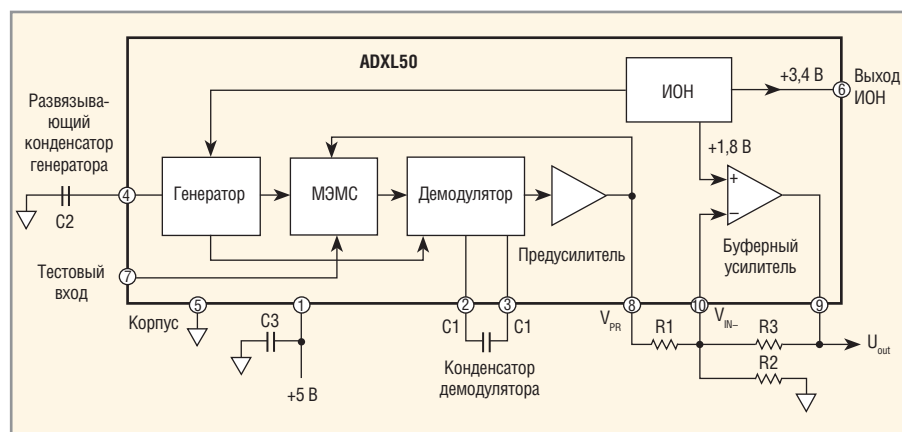


Рис. 2. Структура микросхемы ADXL50

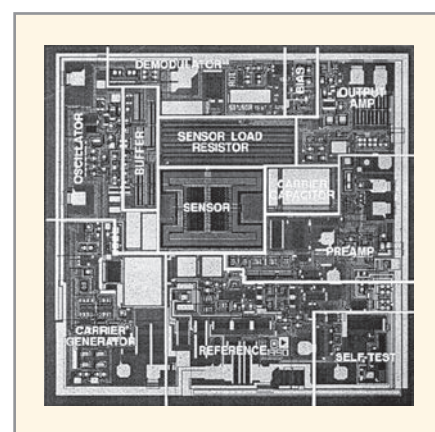


Рис. 3. Структура кристалла микросхемы ADXL50



пасности автомобилей. Его серийное производство началось в 1991 г.

ADXL50 – интегральный одноосевой акселерометр с поверхностным датчиком ускорения (Surface-Micromachined, Monolithic Accelerometer), структура микросхемы которого приведена на рисунке 2, а внешний вид кристалла – на рисунке 3. Поверхностными называют МЭМС, позволяющие детектировать ускорение в плоскости, параллельной поверхности кристалла. Кристалл микросхемы размерами  $3 \times 3$  мм занят, в основном, схемами формирования сигнала, окружающими миниатюрный датчик ускорения размерами  $500 \times 625$  мкм (площадь менее  $1,2 \text{ мм}^2$ ), расположенный в центре кристалла. Сам датчик представляет собой дифференциальную конденсаторную систему с воздушным диэлектриком и обкладками, вытравленными из плоской поликремниевой плёнки толщиной 2 мкм. Неподвижные обкладки выполнены в виде простых стержней, расположенных на высоте 1 мкм от поверхности кристалла. Подвижные обкладки связаны с подпружиненной инерционной балкой (Beam), укрепленной на фиксирующих анкерах.

Упрощённая структура одной ячейки конденсаторной системы показана на рисунках 4а и 4б, функциональная схема измерителя ускорения – на рисунке 5. Весь датчик состоит из 42 элементарных конденсаторных ячеек, его подвижная инерционная масса при изменении скорости перемещения кристалла микросхемы смещается относительно неподвижной части конденсаторной системы. Неподвижные обкладки соединённых параллельно ячеек образуют дифференциальный переменный конденсатор, ёмкость которого зависит от положения подвижных частей между неподвижными обкладками. Пружинные растяжки на концах подвижной системы удерживают её на весу и обеспечивают возврат инерционной подвижной массы в исходное положение при отсутствии ускорения (в неподвижном положении и при постоянной линейной скорости движения).

Сила инерции при воздействии ускорения определяется формулой  $F = ma$ , уравновешивающая сила упругости пружин подвижной системы – формулой  $F = kx$ , где  $m$  – масса,  $a$  – ускорение,  $k$  – жёсткость пружины,  $x$  – перемещение массы относительно исходного состояния. Таким образом, ускорение мож-



## АГУССОФТ – ВАШ НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР



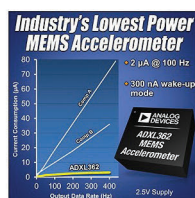
### Акселерометры, гироскопы и подсистемы МЭМС iSensor® от Analog Devices

Интегрированные измерительные модули (IMU) МЭМС iSensor – это обладающие высокой степенью интеграции решения для многоосевых измерений, которые сочетают в себе гироскопы, акселерометры, магнетометры, датчики давления и другие технологии.



#### ADXL103/ADXL203

- Одноосевой/двухосевой акселерометр
- Диапазон измерений  $\pm 1.2g$ ,  $\pm 1.7g$ ,  $\pm 5g$ ,  $\pm 18g$  до  $2.5kГц$
- Собственный шум  $110 \text{ мкг}/\sqrt{Гц}$
- Предельное ускорение  $3500g$
- Потребление в рабочем режиме  $700 \text{ мкА}$
- Температурный диапазон  $-40..+ 125^\circ\text{C}$
- Корпус LCC ( $5 \times 5 \text{ мм}$ )



#### ADXL362

- Трёхосевой акселерометр с цифровым выходом SPI
- Сверхнизкое потребление  $1.8 \text{ мкА}$  @  $100Гц$
- Диапазон измерений  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 5g$ ,  $\pm 8g$  (12-Bit)
- Собственный шум  $175 \text{ мкг}/\sqrt{Гц}$
- Температурный диапазон  $-40..+ 85^\circ\text{C}$
- Корпус LGA ( $3 \times 3.25 \text{ мм}$ )



#### ADXL375

- Трёхосевой акселерометр с интерфейсом SPI и I2C
- Диапазон измерений  $\pm 200g$  до  $1kГц$  (16-Bit)
- Собственный шум  $5 \text{ мкг}/\sqrt{Гц}$
- Предельное ускорение  $10000g$
- Потребление в рабочем режиме  $145 \text{ мкА}$  @  $100Гц$
- Температурный диапазон  $-40..+ 85^\circ\text{C}$
- Корпус LGA ( $3 \times 5 \text{ мм}$ )

<http://www.analog.com/en/products/mems.html>

Реклама

Москва

Тел.: (495) 660-28-55  
Факс: (495) 660-28-55  
cmr@argussoft.ru

Санкт-Петербург

Тел.: (812) 412-01-07  
Факс: (812) 412-18-49  
spb@argussoft.ru

Новосибирск

Тел.: (383) 227-11-55  
Факс: (383) 222-40-31  
nsk@argussoft.ru

www.argussoft.ru

**ARGUSSOFT**  
ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ДИСТРИБЬЮТОР

Екатеринбург

Тел.: (343) 378-32-42  
Факс: (343) 378-32-41  
ural@argussoft.ru

Казань

Тел.: (843) 206-01-12  
Факс: (843) 293-41-00  
kazan@argussoft.ru

Ростов-на-Дону

Тел.: (863) 231-56-56  
Факс: (863) 242-44-52  
rostov@argussoft.ru

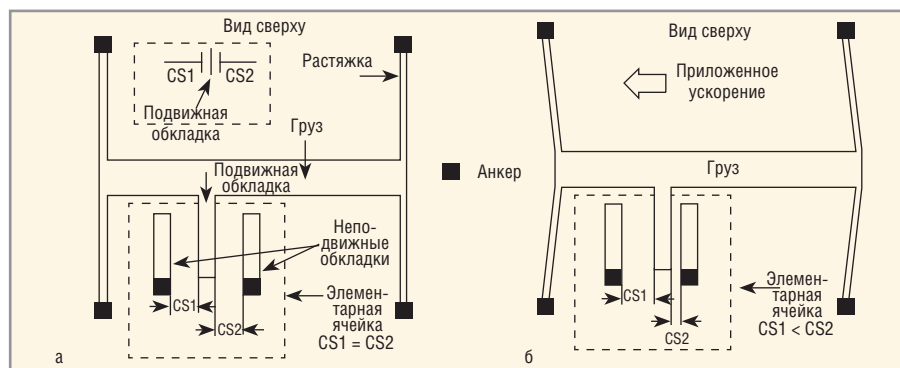


Рис. 4. Структура ячейки МЭМС: а – структура ячейки МЭМС в исходном положении, б – структура ячейки МЭМС в отклонённом состоянии

но определить по формуле  $a = x \text{ (k/m)}$ , причём параметр в скобках определяется конструкцией датчика. Ось чувствительности датчика лежит в плоскости поликремниевой плёнки, параллельной печатной плате, на которой установлена микросхема в металлическом корпусе TO-100 (см. рис. 6).

Соединённые параллельно обкладки конденсаторов датчика с общими ёмкостями CS1 и CS2 подключаются к электронным узлам на кристалле микросхемы. Перемещение подвижной инерционной балки при изменении скорости перемещения всей микросхемы вдоль оси чувствительности приводит к неодинаковому изменению ёмкостей CS1 и CS2. На неподвижные обкладки конденсаторов подаются противофазные импульсные сигналы одинаковой амплитуды от местного генератора (меандр с частотой 1 МГц). При движении с постоянной скоростью или в неподвижном состоянии микросхемы суммарный сигнал на подвижной части датчика, соединённого с входом уси-

лителя, практически отсутствует. При возникновении ускорения вдоль оси чувствительности датчика появляется разностный сигнал прямоугольной формы, амплитуда которого зависит от величины смещения инерционной балки, а фаза определяется направлением ускорения (вперёд или назад). Сигнал с выхода усилителя подаётся на фазочувствительный демодулятор, преобразующий его в низкочастотный с полосой 0–10 кГц (конкретная полоса пропускания определяется внешними элементами).

Для уменьшения влияния температуры окружающей среды, временных изменений параметров схемы и нелинейности переходной характеристики на точность измерений, в схему введена отрицательная обратная связь (ООС) по положению инерционной балки. Для реализации ООС напряжение с выхода предусилителя через резистор сопротивлением 3 МОм подаётся на подвижную часть конденсаторной системы. Это напряжение создаёт электростати-

ческие силы, стремящиеся установить инерционную балку в исходное состояние. При заданных параметрах внешних и внутренних элементов и в отсутствие ускорения ООС не позволяет балке сдвигаться на расстояние более чем 0,01 мкм от исходного. При отсутствии ускорения напряжение на выходе микросхемы (вывод 9) равно 1,8 В, при полном ускорении  $\pm 50 \text{ g}$  напряжение изменяется до  $1,8 \pm 0,95 \text{ В}$ , паспортная крутизна изменения выходного напряжения (чувствительность датчика) составляет 19 мВ/г (измеряется по выходу  $V_{PR}$ /вывод 8 микросхемы).

При использовании буферного усилителя диапазон измеряемых ускорений и чувствительность микросхемы задаётся значениями сопротивлений резисторов R1, R2 и R3, которые определяют коэффициент усиления буферного каскада (см. рис. 4). При изменении КУ в пределах 2–10, диапазон измеряемых ускорений лежит в пределах  $\pm 50 \dots \pm 10 \text{ g}$ , а чувствительность – в пределах 40–200 мВ/г (измеряется по выходу  $V_{out}$ /вывод 9). Подробные данные об особенностях применения микросхемы приведены в статье Билла Ридела (Bill Riedel) [1].

Микросхема ADXL50 стала первым интегральным датчиком ускорения для систем управления подушками безопасности автомобилей, выпускаемых большими тиражами. До его появления на рынке цена множества компонентов и работ по установке подушек безопасности находилась в пределах \$400–600 (1990 г.). С применением ADXL50 эта цена снизилась до \$50–80. В дальнейшем принцип измерения ускорений

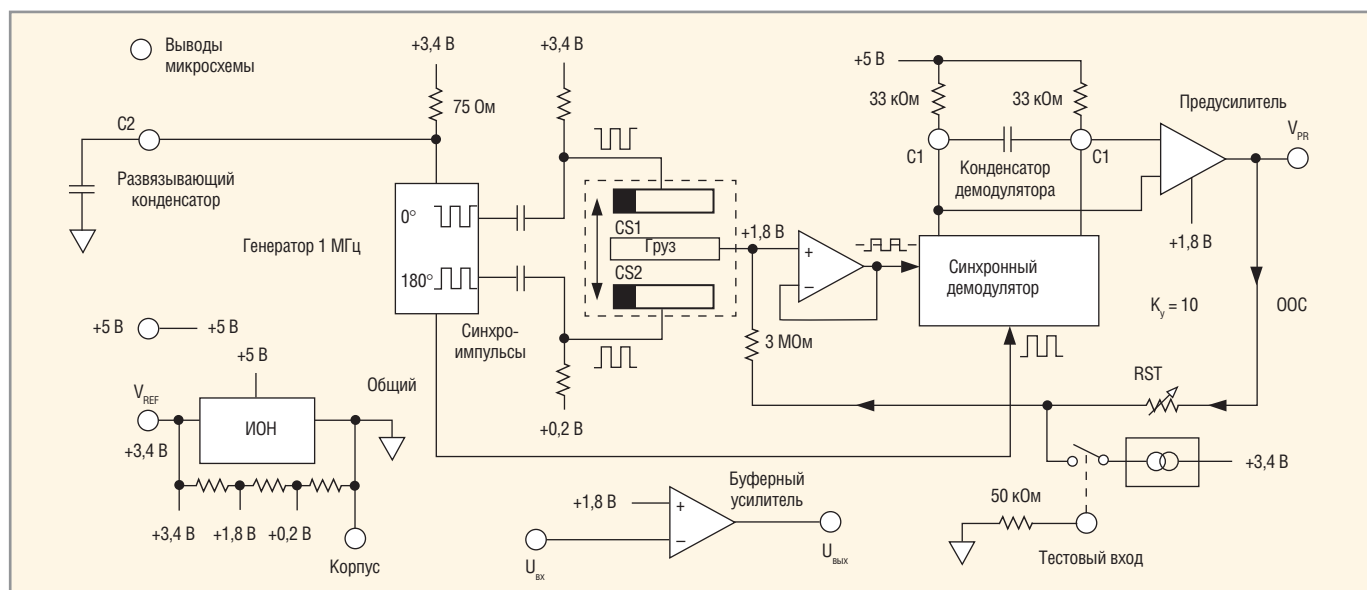


Рис. 5. Функциональная схема измерителя ускорения



с помощью ёмкостного датчика, применённого в ADXL50, использовался практически во всех типах инерциальных датчиков компании.

В 1995 г. компания выпустила на рынок микросхему ADXL05, представляющую собой совместимый по выводам с ADXL50 интегральный датчик ускорения поверхностного типа с диапазоном измерения  $\pm 5$  g и чувствительностью 200–1000 мВ/г. Микросхема отличается от ADXL50 в 12 раз меньшим уровнем шума (500 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$  по сравнению с 6,6 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$  в полосе 4 Гц – 1 кГц). Выбираемый пользователями диапазон измерения ускорения составляет  $\pm 1... \pm 5$  g. Микросхема предназначена для измерения ускорений и уровня вибраций в системах бюджетного класса.

Одноосевой ADXL150 и двухосевой ADXL250 поверхностные акселерометры третьего поколения (торговая марка iMEMS® – Integrated MEMS) были представлены компанией в 1996 г. Приборы характеризуются низким уровнем шума (1 мкг/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ), большим динамическим диапазоном (80 дБ), малым потребляемым током (1,8 мА/канал) и низким дрейфом в промышленном диапазоне температур. Двухосевой акселерометр ADXL250 составлен из двух однотипных каналов, датчики которых расположены под углом 90° друг относительно друга. Для работы микросхем нужен только один внешний компонент – конденсатор фильтра по цепи питания. Чувствительность и диапазон измеряемых ускорений составляют 38 мВ/г и  $\pm 50$  g.

В 1998 г. ADI выпустила первый в мире коммерческий двухосевой акселерометр ADXL202, на одном кристалле которого интегрированы датчики малых ускорений (до  $\pm 2$  g), аналоговые схемы усиления и управления с малым потреблением (0,6 мА) и возможностью подключения выходов микросхемы непосредственно к микроконтроллерам общего назначения.

Поскольку размеры и масса поверхностных структур датчиков ускорения рассматриваемого типа чрезвычайно малы, схема измерения должна регистрировать незначительные изменения ёмкостей, а её точность ограничена разрешением схемы считывания. В конструкцию и схемотехнику ADXL202 (а также ADXL210) внесены существенные изменения. Увеличено число единичных элементов поверхностной системы конденсаторов, а их ёмкость увеличена за счёт уменьшения

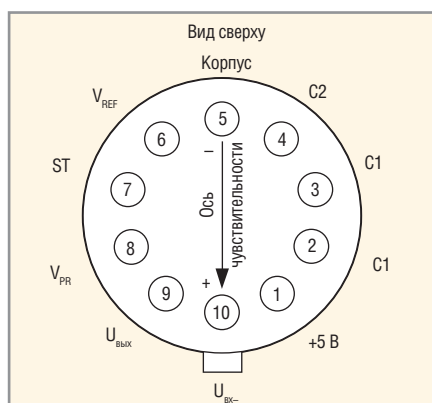


Рис. 6. Цоколёвка микросхемы ADXL50

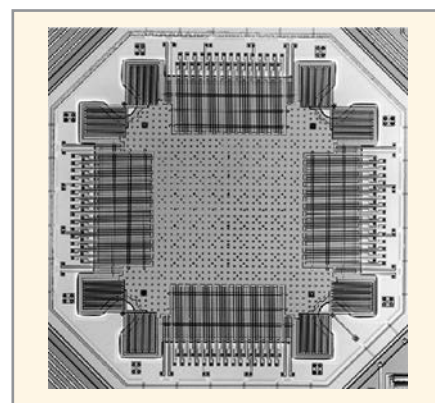


Рис. 7. МЭМС-датчик микросхемы ADXL202

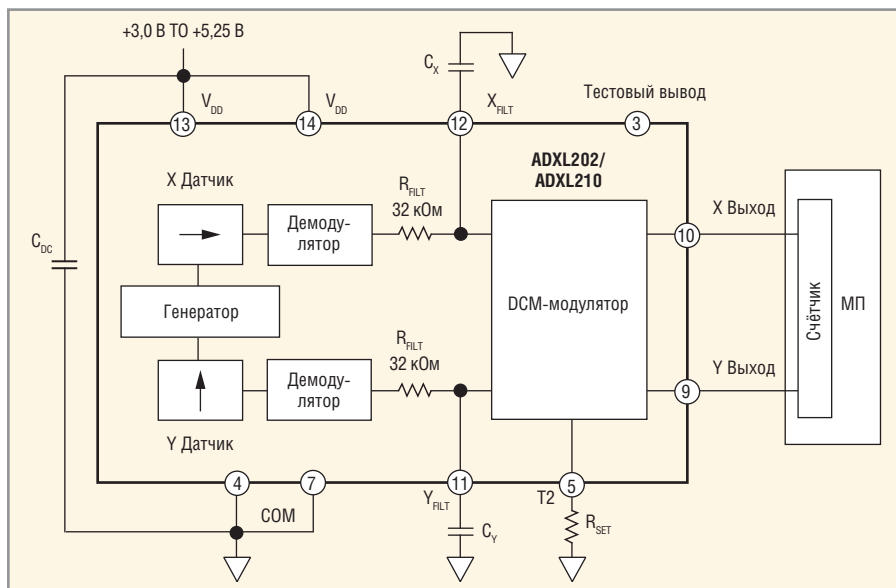


Рис. 8. Структура микросхем ADXL202 и ADXL210

зазоров и увеличения длины подвижных выступов. Увеличена и масса подвижной части системы. Внешний вид дифференциальной конденсаторной системы показан на рисунке 7. Длина подвижных элементов инерциальной массы составляет 125 мкм, зазор между подвижными и неподвижными обкладками конденсаторов – 1,3 мкм, для каждой оси измерения X и Y используется по две конденсаторные секции, которые расположены друг против друга.

В отличие от рассмотренных акселерометров, в данных приборах используется косвенный метод измерения ускорения. На рисунке 8 приведена структура микросхем ADXL202 и ADXL210: выходные сигналы с демодуляторов каналов X и Y поступают на управляющие входы модулятора DCM (DCM – Duty Cycle Modulation, аналогична ШИМ). Коэффициент заполнения D (отношение периода следования к длительности импульсов) на выходах модулятора (выводы 10, 9) пропорционален ускорению, D = 50 % (скважность S = 2) соответствует нулевому ускоре-

нию. Величина периода следования импульсов задаётся внешним резистором  $R_{set}$ , подключаемым к выводу 5 микросхемы.

Рассматриваемые акселерометры способны измерять статические и динамические (вибрация) ускорения с разрешением 5 mg в диапазоне до 60 Гц, а также определять углы наклона с точностью  $\pm 1$  градус. Чувствительность приборов 12,5 D/g (ADXL202) и 4 D/g (ADXL210). Микросхемы выпускаются в керамических корпусах QC-14 размерами 9,9 × 7,3 мм. К основным областям применения микросхем относятся: двухосевые датчики угловых перемещений, компьютерная периферия, инерциальные навигационные приборы, аппаратура для сейсмического мониторинга, системы безопасности автомобилей, датчики движения с батарейным питанием.

В 2002 году компания выпустила первый в мире интегральный микромеханический гироскоп ADXRS150, выполненный по технологии iMEMS. Микросхема представляет собой одно-

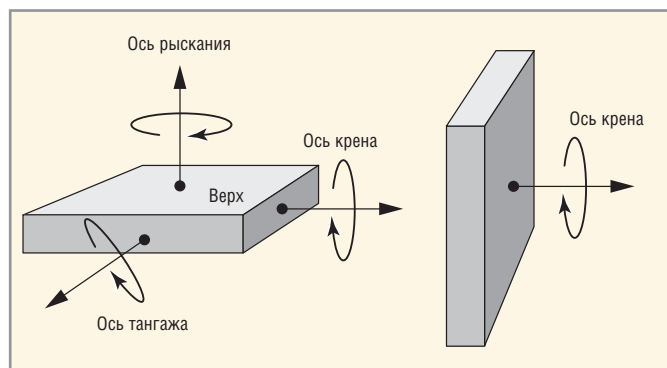


Рис. 9. Оси вращения

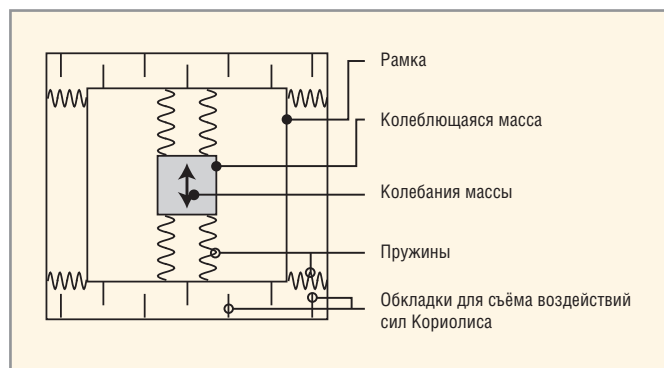


Рис. 10. Устройство МЭМС-датчика гироскопа

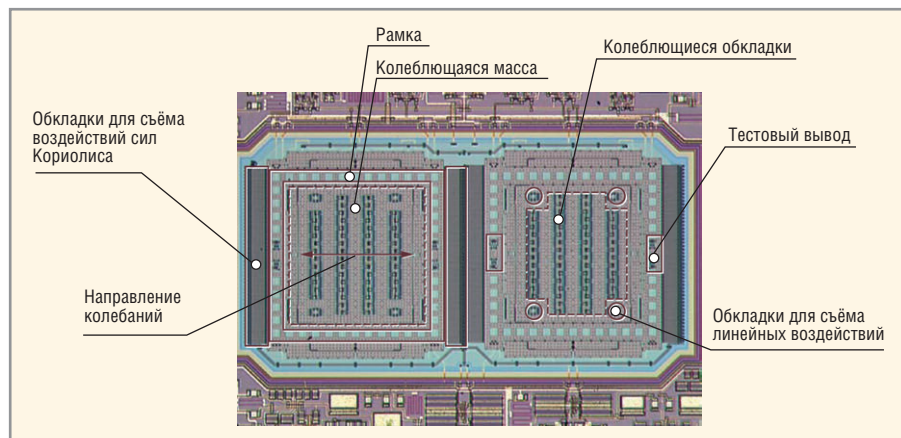


Рис. 11. Устройство МЭМС-датчика микросхемы ADXR5150

осевой вибрационный датчик угловой скорости с чувствительностью не менее  $\pm 150^\circ/\text{с}$ , выполненный в корпусе LCBGA-32 размерами  $7 \times 7$  мм. В зависимости от положения микросхемы в пространстве, датчик может регистрировать углы поворота вокруг одной из трёх осей: ось рыскания / ось Z / угол поворота (Yaw Axis / Z-Axis / Rate Axis), ось тангажа / ось Y / продольный наклон (Pitch Axis / Y-Axis / Longitudinal Axis), ось крена / ось X / поперечный наклон (Roll Axis / X-Axis / Lateral Axis) – как показано на рисунке 9. При горизонтальном положении микросхемы регистрируются углы рыскания, что позволяет использовать микросхему в качестве элемента систем навигации в различных устройствах (смартфоны, навигаторы и тому подобное).

Основным чувствительным элементом микросхемы является закреплённая на пружинных подвесах рамка, внутри которой закреплена некоторая инерциальная масса, совершающая колебательные движения (см. рис. 10). Колебания массы (вибрация) совершаются по оси Y, а колебания рамки возможны только по оси X, рамка снабжена множеством подвижных обкладок конденсаторов (как у описанных акселерометров), а на подложке микро-

схемы сформированы соответствующие неподвижные обкладки конденсаторов. Общая дифференциальная ёмкость конденсаторов может изменяться как при линейных ускорениях самой микросхемы по оси X, так и при поворотах корпуса микросхемы вокруг оси Z под воздействием ускорения Кориолиса. Для выделения составляющей, вызванной поворотом микросхемы вокруг оси Z, датчик выполнен из двух одинаковых секций, инерциальные массы которых колеблются в противофазе (см. рис. 11). Измерительные сигналы, снимаемые с обеих секций, поступают на дифференциальную схему, которая складывает составляющие, вызванные ускорением Кориолиса, и вычитает синфазные составляющие, вызванные линейными ускорениями.

Структура и типовое включение микросхемы ADXR5150 приведены на рисунке 12. Для возбуждения колебаний инерциальных масс датчиков используются противофазные синусоидальные колебания внутреннего генератора с частотой 14 кГц, на который с генератора подкачки заряда (ГПЗ) поступает напряжение питания +12 В. При изменении линейной скорости колебаний по синусоидаль-

ному закону зависимость выходного напряжения микросхемы на выводе 18/RATEOUT от ускорения Кориолиса практически линейная. При вращении корпуса микросхемы по часовой стрелке напряжение на выходе увеличивается от уровня 2,5 В до 4,75 В, и наоборот, при вращении против часовой стрелки уменьшается от 2,5 В до 0,25 В. Подробное описание микросхем ADXR5150/300 приведено в статье, опубликованной в журнале «Analog Dialog» [2].

Первый трёхосевой акселерометр ADXL330 (см. рис. 13) в корпусе LFCSP-16 размерами  $4 \times 4 \times 1,5$  мм компания выпустила в 2005 году. Датчик прибора выполнен по той же технологии iMEMS, что и предыдущие продукты, микросхема характеризуется очень малым энергопотреблением и низким напряжением питания (ток потребления 200 мкА при  $U_{\text{пит}} = 2$  В). Прибор позволяет регистрировать ускорения до  $\pm 4$  g по трём пространственным осям в аналоговом виде. Чувствительность каждого канала составляет 300 мВ/g, выходное напряжение при нулевом ускорении – 1,5 В ( $U_{\text{пит}} = 3$  В), полный размах выходных сигналов – 2,8 В. Основные области применения микросхемы ориентированы на мобильные и портативные приложения с низким напряжением питания: сотовые телефоны, видео- и фотокамеры (стабилизация изображения), игровые устройства, жёсткие диски (защита от ударов), спортивные и оздоровительные приборы. Однако высокая надёжность микросхем (диапазон рабочих температур  $-55...+125^\circ\text{C}$ , удары до 10 000 g) делает возможным их использование в ответственных приложениях. Например, по данным болгарского исторического сайта Bulgar-Istoria, микросхемы ADXL330 (а также ADXL193, ADIS16120 и ADXR5150/300) предположительно применены в го-



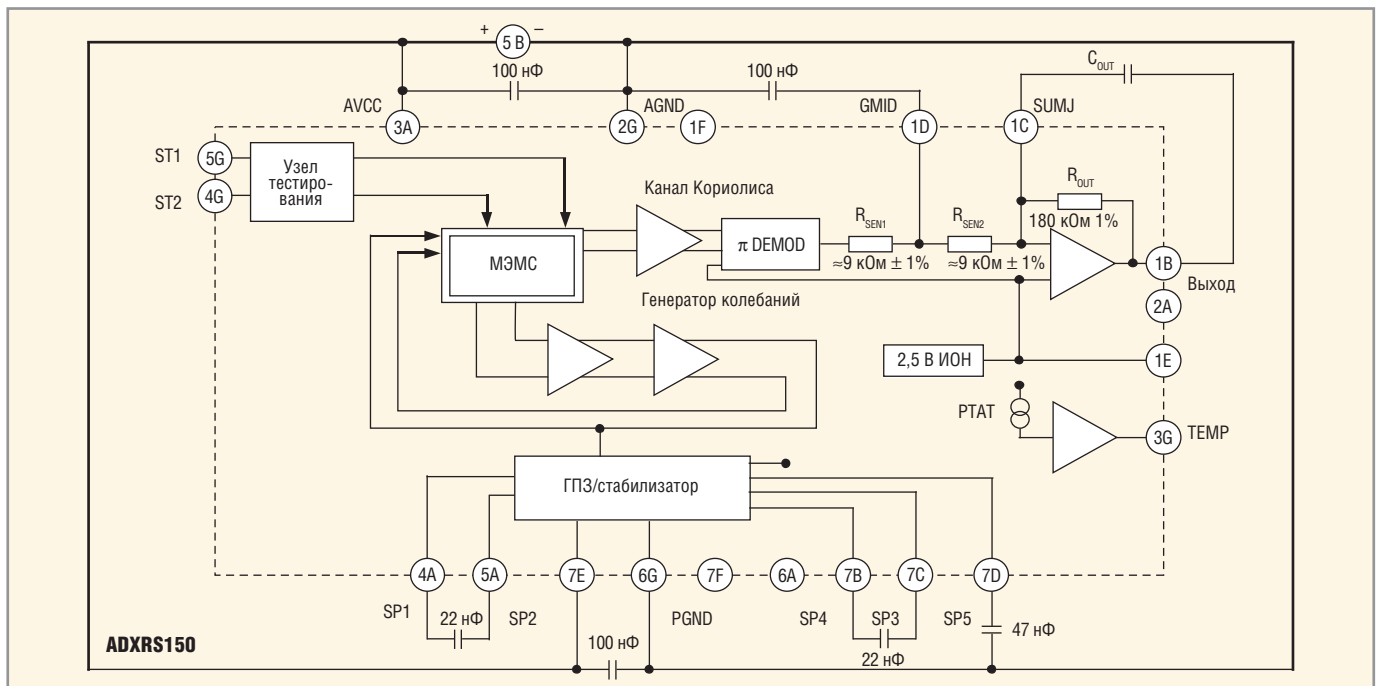


Рис. 12. Структура микросхемы ADXRS150

ловках наведения оперативно-тактических ракетных комплексов «Искандер-К» [3, 4].

Дальнейшее развитие МЭМС-продуктов компании получило в семействе интегральных датчиков движения iSensor®, объединяющих уже описанные ёмкостные интегральные структуры со схемами аналоговой и цифровой обработки сигналов повышенной функциональности. Уже в 2007 г. номенклатура микросхем ADIS16xxx семейства iSensor насчитывала около 20 типов различных интегральных акселерометров и гироскопов с разной цифровой обработкой сигналов.

Во второй части статьи будут рассмотрены современные МЭМС-продукты компании Analog Devices.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol27](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol27).
2. [www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol37](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives.html#vol37).
3. [www.bulgari-istoria-2010.com](http://www.bulgari-istoria-2010.com).
4. 9K720 Искандер-SS-26 STONE. [www.bulgari-istoria-2010.com/booksBG/9K720%20ISKANDER.pdf](http://www.bulgari-istoria-2010.com/booksBG/9K720%20ISKANDER.pdf). С. 24.
5. [www.analog.com/ru/index.html](http://www.analog.com/ru/index.html).
6. Холикулов Э.Х., Султанов К.С., Исмаилов Х.М., Логинов П.В. Составляющие эле-

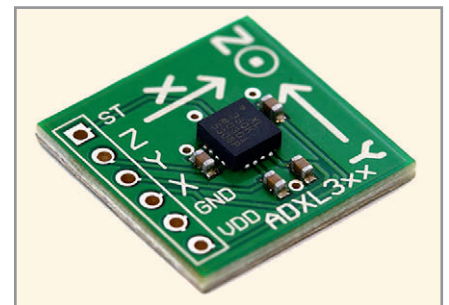


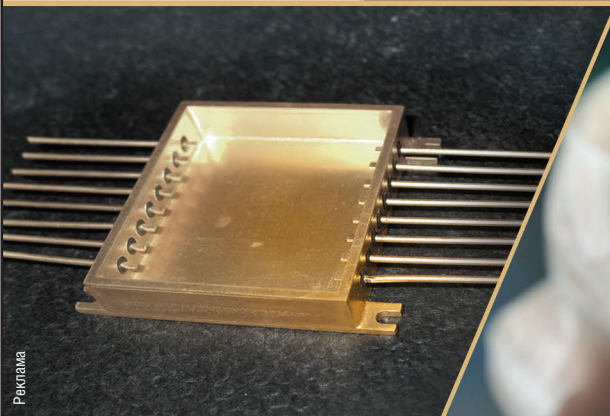
Рис. 13. Трёхосевой акселерометр ADXL330

менты системы мониторинга вибрации и колебаний КНК-270. Горный вестник Узбекистана. 2014. №1. С. 62. [www.ngmk.uz/vestnik/vest\\_archive/2014/56.pdf](http://www.ngmk.uz/vestnik/vest_archive/2014/56.pdf). ©



**ОАО «ЗАВОД «МАРС»**

**ПРОИЗВОДСТВО КОРПУСОВ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**





ZMARS@TORZHOK.TVCOM.RU



WWW.Z-MARS.RU / +7(848251) 552-37

# Новые продукты в линейке компании Philips Lumileds: сверхъяркие светодиоды

Андрей Туркин (Москва)

В статье приводится обзор новых светодиодных изделий компании Philips Lumileds – одного из лидеров среди производителей светодиодов на современном рынке. Компания Philips Lumileds продолжает успешно развивать свою линейку продукции, выпуская на рынок новые серии и типы изделий.

## ВВЕДЕНИЕ

Успехи в физике и технологии полупроводников, приведшие в середине 90-х гг. XX века к созданию гетероструктур на основе нитрида галлия и его твёрдых растворов [1–6], позволили светодиодам проникнуть в коротковолновую область и, тем самым, перекрыть весь видимый диапазон оптического спектра [1–6]. Это позволило сделать светодиоды перспективными источниками света, прежде всего, для оптической индикации и отображения информации [7]. Создание же в конце 90-х гг. XX века светодиодов белого свечения и, особенно, разработка в самом начале 2000-х гг. принципиально нового класса светодиодов – мощных светодиодов – позволили говорить о светодиодах, как о новых перспективных источниках света для освещения [4, 6, 8]. Несомненно, такой прорыв можно считать большим достижением в науке и технике, и, как следствие, он был отмечен в 2014 г. Нобелевской премией по физике, присуждённой японским учёным Исаму Акасаки, Хироши Амано и Шуджи Накамуре [6], которые во многом способствовали его осуществлению. Стоит отметить, что именно в создании первого мощного светодиода основная роль принадлежит разработчикам компании Philips Lumileds

[9–13], в результате реальностью стало то, что казалось несбыточной мечтой ещё несколько лет назад.

В настоящее время рынок светотехнических изделий развивается поступательно, благодаря постоянному появлению новых светодиодных продуктов. Связано это как с появлением новых поколений существующих серий светодиодов и светодиодных модулей, предлагаемых компаниями-производителями, так и с освоением ими новых типов продукции, до настоящего времени не присутствовавшей в их линейке. Примером может служить выпуск компанией Cree в 2011 г. серии светодиодных модулей CXA2011 [14], а затем последовательное пополнение серии CXA новыми моделями [15]. В последние годы аналогичным путём пошла и компания Philips Lumileds, выпустив на рынок серию светодиодных модулей Chip-on-Board (CoB) [13]. Кроме того, специалисты компании Philips Lumileds несколько лет назад занялись разработкой ещё одного типа продуктов – сверхъярких светодиодов. В данный момент можно утверждать, что и эта работа была проведена успешно, и светодиодная линейка пополнилась новыми продуктами, обзор которых приводится в данной статье.

## Светодиоды LUXEON 3535

Одним из первых продуктов нового направления сверхъярких светодиодов, или, как их называют сами производители, «полуваттников», является серия Luxeon 3535 (см. рис. 1). Этот светодиод выпускается в стандартном корпусе размером  $3,5 \times 3,5$  мм, который по топологии полностью соответствует аналогам других производителей. Данные светодиоды перекрывают диапазон цветовой температуры от 2700 до 6500 К, то есть имеют все оттенки белого света – тёплый, естественный и холодный. Номинальный ток для них составляет 100 мА, типичное значение напряжения при данном токе – 3,1 В. Угол кривой светораспределения равен  $115^\circ$ , тепловое сопротивление –  $20^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3535 в номинальном режиме (ток 100 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) составляет 32 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе равно 39 лм.

При минимальном значении CRI = 80 в холодном (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белом диапазонах, минимальное значение светового потока в номинальном режиме тоже составляет 32 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номиналь-



Рис. 1. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3535

Таблица 1. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3535

| Цветовая температура, К | Угол, ° | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 100 мА |     |       | Мин CRI | Световой поток, лм @ 100 мА |     |
|-------------------------|---------|---------------|------------------------|-----|-------|---------|-----------------------------|-----|
|                         |         |               | мин.                   | тип | макс. |         | мин.                        | тип |
| 4000                    | 115     | 150           | 2,8                    | 3,1 | 3,4   | 70      | 32                          | 39  |
| 5000                    |         |               |                        |     |       | 70      | 32                          | 39  |
| 5700                    |         |               |                        |     |       | 70      | 32                          | 39  |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 70      | 32                          | 39  |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 80      | 28                          | 32  |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 80      | 30                          | 33  |
| 3500                    |         |               |                        |     |       | 80      | 30                          | 34  |
| 4000                    |         |               |                        |     |       | 80      | 32                          | 36  |
| 5000                    |         |               |                        |     |       | 80      | 32                          | 36  |
| 5700                    |         |               |                        |     |       | 80      | 32                          | 36  |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 80      | 32                          | 36  |



ном токе равно 36 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 28 лм, для значений цветовой температуры 3000 и 3500 К – 30 лм. Типичное значение светового потока для указанных значений цветовой температуры составляет 32, 33 и 34 лм соответственно.

Световая отдача данных светодиодов в холодном и естественном диапазонах белого света превышает 100 лм/Вт, в тёплом белом диапазоне значение световой отдачи превышает 90 лм/Вт.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3535 приведены в таблице 1.

Светодиоды серии Luxeon 3535 предназначены для использования в светильниках и светодиодных устройствах, применяемых для внутреннего освещения, в частности, во встраиваемых светильниках, светодиодных лампах, светильниках типа Down Light и так далее. Кроме того, возможно их применение и в светотехнических приборах и системах наружного освещения.

## Светодиоды Luxeon 3535L

Серия светодиодов Luxeon 3535L (см. рис. 2) является более широкой по сравнению с Luxeon 3535. Как и в случае серии Luxeon 3535, данный светодиод выпускается в стандартном корпусе размером  $3,5 \times 3,5$  мм, который по топологии полностью соответствует аналогам других производителей. Данные светодиоды перекрывают более широкий, по сравнению с серией Luxeon 3535, диапазон цветовой температуры – от 2200 до 6500 К, и, тем самым, представляют все оттенки белого света – тёплый, естественный и холодный. Номинальный ток для них составляет 100 мА, а типичное значение напряжения при данном токе – порядка 3,0 В. Угол кривой светораспределения равен  $115^\circ$ , тепловое сопротивление – порядка  $20^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3535L в номинальном режиме (ток 100 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и в естественном белом диапазоне (значение

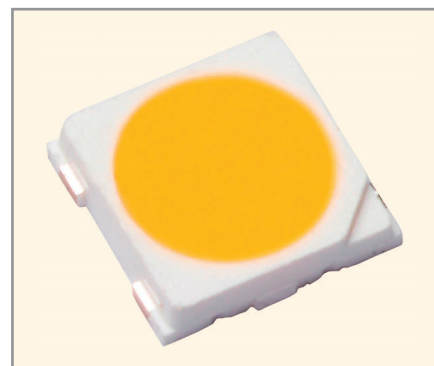


Рис. 2. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3535L

цветовой температуры 4000 К) составляет 38 лм. Типичное значение светового потока при номинальном токе для значения цветовой температуры 4000, 5000 и 5700 К в зависимости от бина варьируется от 44 до 54 лм, для значения цветовой температуры 6500 К – от 46 до 52 лм.

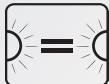
При минимальном значении CRI = 80 в холодном белом диапазоне при значении цветовой температуры 5000 К минимальное значение светового потока составляет 34 лм, типичное значение в зависимости от бина – от



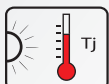
**PHILIPS**  
**LUMILEDS**

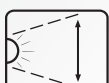
## МОЩНЫЕ СВЕТОДИОДЫ LUXEON

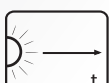


 Однородность цветковых характеристик

 Высокий индекс цветопередачи

 Стабильность цветовой температуры

 Постоянство углового распределения спектра

 Постоянство характеристик во времени

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ PHILIPS LUMILEDS**

**ProCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

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



Реклама



Рис. 3. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3535 2D

43 до 50 лм. В холодном белом диапазоне при значении цветовой температуры 5700 и 6500 К минимальное значение светового потока равняется 30 лм, а типичное значение в зависимости от бина составляет от 42 до 50 лм. В естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме равно 34 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе составляет в зависимости от бина от 43 до 48 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700, 3000 и 3500 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 30 лм. Типичное значение светового потока данных светодиодов в номинальном режиме в зависимости от бина варьируется от 38,5 до 46 лм. Для значений цветовой температуры 2200 и 2500 К минимальное значение

светового потока в номинальном режиме равняется 26 лм. Типичное значение светового потока для значений цветовой температуры 2200 К в зависимости от бина составляет от 30 до 35 лм, для цветовой температуры 2500 К – от 32 до 36 лм соответственно.

При минимальном значении CRI = 85 в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 24 лм, типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе в зависимости от бина варьируется от 32 до 40 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме равно 30 лм, типичное значений светового потока в зависимости от бина составляет от 33,5 до 36 лм. Для значения цветовой температуры 3000 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 24 лм, типичное же значение в номинальном режиме – 33,5 лм.

При минимальном значении CRI = 90 в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 32 лм, типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе равно 42 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700 К

минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 31 лм, типичное значение светового потока в зависимости от бина варьируется от 36 до 37 лм. Для значения цветовой температуры 3000 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 26 лм, типичное значение в зависимости от бина меняется от 32 до 37 лм. Для значений цветовой температуры 3500 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 32 лм, типичное значение данных светодиодов в номинальном режиме – 40 лм.

Световая отдача данных светодиодов в холодном и естественном диапазонах белого цвета достигает 140 лм/Вт, в тёплом белом диапазоне – 120 лм/Вт.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3535L представлены в таблице 2.

Светодиоды серии Luxeon 3535L предназначены для использования в светильниках и светодиодных устройствах, применяемых для внутреннего освещения. Наличие более тёплого диапазона белого света, порядка 2200–2500 К, оптимизирует светодиоды данной серии для применения в светодиодных лампах-ретрофитах, заменяющих лампы накаливания. Более широкий спектр значений индекса цветопередачи дополнительно расширяет сферы применения данных светодиодов, включая изделия для случаев, когда требуется качественная передача цвета. Кроме того, возможно их применение и в светотехнических приборах и системах для наружного освещения, например, для архитектурного и ландшафтного освещения.

Поскольку у серии Luxeon 3535L и Luxeon 3535 одинаковые корпуса, то разработчикам легко переходить в существующих изделиях на светодиоды новой серии, тем самым обеспечивая им более высокие значения потока, световой отдачи и индекса цветопередачи.

### Светодиоды Luxeon 3535 2D

Ещё одной новой серией сверхъярких светодиодов Philips Lumileds является серия Luxeon 3535 2D. Светодиод данной серии, показанный на рисунке 3, выпускается в стандартном корпусе размером 3,5 × 3,5 мм, который по топологии полностью соответствует предыдущим сериям и аналогам других производителей. Светодиоды перекрывают диапазон цветовой темпера-

Таблица 2. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3535L

| Цветовая температура, К | Угол, ° | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 100 мА |     |       | Мин. CRI | Световой поток, лм @ 100 мА |           |
|-------------------------|---------|---------------|------------------------|-----|-------|----------|-----------------------------|-----------|
|                         |         |               | мин.                   | тип | макс. |          | мин.                        | тип       |
| 4000                    | 115     | 150           | 2,7                    | 3,0 | 3,4   | 70       | 38                          | 44...54   |
| 5000                    |         |               |                        |     |       | 70       | 38                          | 44...54   |
| 5700                    |         |               |                        |     |       | 70       | 38                          | 44...54   |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 70       | 38                          | 42...56   |
| 2200                    |         |               |                        |     |       | 80       | 26                          | 30...35   |
| 2500                    |         |               |                        |     |       | 80       | 26                          | 32...36   |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 80       | 30                          | 38,5...46 |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 80       | 30                          | 38,5...46 |
| 3500                    |         |               |                        |     |       | 80       | 30                          | 38,5...46 |
| 4000                    |         |               |                        |     |       | 80       | 34                          | 43...48   |
| 5000                    |         |               |                        |     |       | 80       | 34                          | 43...50   |
| 5700                    |         |               |                        |     |       | 80       | 30                          | 42...50   |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 80       | 30                          | 42...50   |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 85       | 30                          | 33,5...36 |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 85       | 24                          | 33,5      |
| 4000                    |         |               |                        |     |       | 85       | 24                          | 32...40   |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 90       | 31                          | 36...37   |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 90       | 26                          | 32...37   |
| 3500                    |         |               |                        |     |       | 90       | 32                          | 40        |
| 4000                    |         |               |                        |     |       | 90       | 32                          | 42        |



туры от 2700 до 6500 К и представляют все оттенки белого света – тёплый, естественный и холодный. Эти светодиоды имеют большее рабочее напряжение: при номинальном токе, который равен 100 мА, типичное значение напряжения составляет порядка 6,0 В. Угол кривой светораспределения равен 115°, тепловое сопротивление – порядка 18°C/Вт.

Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3535 2D в номинальном режиме (ток 100 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) составляет 70 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе равно 77 лм.

При минимальном значении CRI = 80 в холодном (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белом диапазонах минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 60 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе варьируется от 73 до 83 лм. В тёплом белом диапазоне (значения цветовой температуры 2700, 3000 и 3500 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 55 лм. Типичное значение светового потока для указанных значений цветовой температуры равно 80 лм.

При минимальном значении CRI = 85 в холодном белом диапазоне (значение цветовой температуры 6500 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 60 лм, типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе равняется 76 лм. В естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 55 лм, типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе – 65 лм. В тёплом белом диапазоне (значения цветовой температуры 2700, 3000 и 3500 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 50 лм, типичное значение светового потока данных светодиодов в номинальном режиме – 68 лм.

При минимальном значении CRI = 90 в тёплом белом диапазоне (значения цветовой температуры 2700 и 3000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 50 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе – 68 лм.

Световая отдача светодиодов Luxeon 3535 2D в холодном и естественном диапазонах белого цвета достигает 130 лм/Вт, в тёплом белом диапазоне значение световой отдачи достигает 120 лм/Вт.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3535 2D собраны в таблице 3.

Светодиоды серии Luxeon 3535 2D, как и предыдущие светодиоды, предназначены для использования в светильниках и светодиодных устройствах для внутреннего освещения, то есть во встраиваемых светильниках, в светодиодных лампах, в светильниках типа Down Light. Однако возможно их применение и в светотехнических приборах для наружного освещения, например, в системах архитектурного и ландшафтного освещения.

### Светодиоды LUXEON 3535 HV

В серии Luxeon 3535 HV представлены светодиоды с рабочим напряжением 24 и 48 В. Они тоже выпускаются в стандартном корпусе размером 3,5 × 3,5 мм (см. рис. 4). Данные светодиоды перекрывают диапазон цветовой температуры от 2700 до 5000 К и представляют все оттенки белого света – тёплый, естественный и холодный.

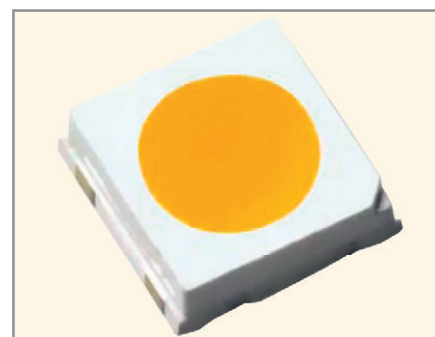


Рис. 4. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3535 HV

Минимальный индекс цветопередачи CRI = 80, угол кривой светораспределения – 115°. Тепловое сопротивление для моделей с рабочим напряжением 24 В составляет 25°C/Вт, для моделей с рабочим напряжением 48 В – 14°C/Вт.

Минимальный световой поток моделей светодиодов Luxeon 3535 HV с напряжением 24 В при рабочем токе 15 мА в холодном белом диапазоне (значение цветовой температуры 5000 К) и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) составляет 42 лм. Типичное значение светового потока данных светодиодов при указанном токе равняется 48 лм. В тёплом белом диапазоне при значении цветовой температуры 2700 К минимальный световой поток составляет 37 лм, а при значении цветовой температуры 3000 К – 39 лм. Типичные значения светового потока для указанных значений цветовой температуры равны, соответственно, 41 и 43 лм.

Минимальный световой поток моделей с напряжением 48 В при рабочем

Таблица 3. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3535 2D

| Цветовая температура, К | Угол, ° | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 100 мА |     |       | Мин. CRI | Световой поток, лм @ 100 мА |     |
|-------------------------|---------|---------------|------------------------|-----|-------|----------|-----------------------------|-----|
|                         |         |               | мин.                   | тип | макс. |          | мин.                        | тип |
| 4000                    | 115     | 150           | 2,7                    | 3,0 | 3,4   | 70       | 70                          | 77  |
| 5000                    |         |               |                        |     |       | 70       | 70                          | 77  |
| 5700                    |         |               |                        |     |       | 70       | 70                          | 77  |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 70       | 70                          | 77  |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 80       | 55                          | 80  |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 80       | 55                          | 80  |
| 3500                    |         |               |                        |     |       | 80       | 55                          | 80  |
| 4000                    |         |               |                        |     |       | 80       | 60                          | 82  |
| 5000                    |         |               |                        |     |       | 80       | 60                          | 83  |
| 5700                    |         |               |                        |     |       | 80       | 60                          | 73  |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 80       | 60                          | 81  |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 85       | 50                          | 68  |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 85       | 50                          | 68  |
| 3500                    |         |               |                        |     |       | 85       | 50                          | 68  |
| 4000                    |         |               |                        |     |       | 85       | 55                          | 65  |
| 6500                    |         |               |                        |     |       | 85       | 60                          | 76  |
| 2700                    |         |               |                        |     |       | 90       | 50                          | 68  |
| 3000                    |         |               |                        |     |       | 90       | 50                          | 68  |

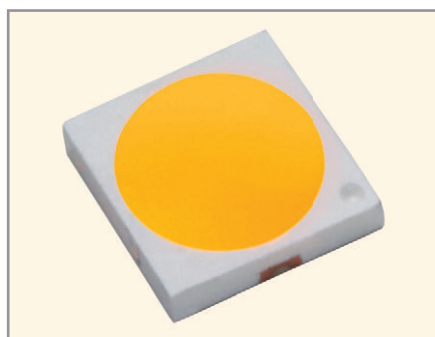


Рис. 5. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3030 2D

токе 15 мА в холодном белом диапазоне (значение цветовой температуры 5000 К) и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) составляет 83 лм. Типичное значение светового потока при указанном токе – 93 лм. В тёплом белом диапазоне при значении цветовой температуры 2700 К минимальный световой поток составляет 71 лм, а при значении цветовой температуры 3000 К – 75 лм. Типичные значения светового потока для указанных значений цветовой температуры равны, соответственно, 80 и 84 лм.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3535 HV приведены в таблице 4.

Световая отдача этих светодиодов в холодном диапазоне белого света достигает 130 лм/Вт, в естественном диапазоне – 120 лм/Вт, в тёплом белом диапазоне значение световойдачи достигает 110 лм/Вт.

Светодиоды серии Luxeon 3535 HV используются в светодиодных устройствах для внутреннего освещения. В основном это лампы-ретрофиты, предназначенные для прямой замены традиционных видов ламп – разрядных и накаливания, а также решения, работающие от постоянного тока, например, аккумуляторов. Применение светодиодов Luxeon 3535 HV возможно в светотехнических приборах и системах для наружного освещения.

### Светодиоды Luxeon 3030 2D

Светодиоды серии Luxeon 3030 2D выполнены, по сравнению с уже описанными, в другом стандартном корпусе типа 3030, который изображён на рисунке 5. Данный тип корпуса имеет размеры 3,0 × 3,0 мм, и по топологии соответствует аналогам других производителей. Светодиоды серии Luxeon 3030 2D выпускаются в диапазоне цветовой температуры от 2700 до 6500 К, то есть перекрывают практиче-

ски всю область белого цвета. Данные светодиоды, как и светодиоды серии Luxeon 3535 2D, имеют типичное значение рабочего напряжения порядка 6,1 В, а номинальный ток для них равен 120 мА. Тепловое сопротивление составляет порядка 12°С/Вт.

Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3030 2D в номинальном режиме (ток 120 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) составляет 101 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе равняется 111 лм.

При минимальном значении CRI = 80 в холодном (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белом диапазоне минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 90 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе – 105 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 80 лм, для значений цветовой температуры 3000 и 3500 К – 85 лм. Типичное значение светового потока для указанных значений цветовой температуры равняется 96, 98 и 101 лм соответственно.

Световая отдача данных светодиодов в холодном диапазоне белого света достигает значения 150 лм/Вт и выше. В естественном белом диапазоне световая отдача может достигать значения в тёплом белом диапазоне – 130 лм/Вт и выше.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3030 2D указаны в таблице 5.

Светодиоды серии Luxeon 3030 используются во встраиваемых светильниках, светодиодных лампах, светильниках типа Down Light и так далее, предназначенных для внутреннего освещения.

### Светодиоды Luxeon 3020

Светодиоды серии Luxeon 3020 2D (см. рис. 6) выполнены также в стандартном корпусе, размеры которого составляют 3,0 × 2,0 мм. Светодиоды выпускаются в диапазоне цветовой температуры от 2700 до 6500 К и перекрывают все области белого света – тёплую, естественную и холодную.

Таблица 4. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3535 HV

| Цветовая температура, К | Угол, ° | Мин. CRI | Напряжение, В | Световой поток, лм @ 15 мА |     | Световой поток, лм @ 20 мА |
|-------------------------|---------|----------|---------------|----------------------------|-----|----------------------------|
|                         |         |          |               | мин.                       | тип | тип                        |
| 2700                    | 115     | 80       | 24            | 37                         | 41  | 53                         |
| 3000                    |         |          |               | 39                         | 43  | 55                         |
| 4000                    |         |          |               | 42                         | 48  | 60                         |
| 5000                    |         |          |               | 42                         | 48  | 60                         |
| 2700                    |         |          | 48            | 71                         | 80  | 102                        |
| 3000                    |         |          |               | 75                         | 84  | 107                        |
| 4000                    |         |          |               | 83                         | 93  | 120                        |
| 5000                    |         |          |               | 83                         | 93  | 120                        |

Таблица 5. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3030 2D

| Цветовая температура, К | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 120 мА |     |       | Мин. CRI | Световой поток, лм @ 120 мА |     | Световой поток, лм @ 100 мА |
|-------------------------|---------------|------------------------|-----|-------|----------|-----------------------------|-----|-----------------------------|
|                         |               | мин.                   | тип | макс. |          | мин.                        | тип | тип                         |
| 4000                    | 240           | 5,8                    | 6,1 | 6,6   | 70       | 101                         | 111 | 95                          |
| 5000                    |               |                        |     |       |          | 101                         | 111 | 95                          |
| 5700                    |               |                        |     |       |          | 101                         | 111 | 95                          |
| 6500                    |               |                        |     |       |          | 101                         | 111 | 95                          |
| 2700                    |               |                        |     |       | 80       | 80                          | 96  | 82                          |
| 3000                    |               |                        |     |       |          | 85                          | 98  | 83                          |
| 3500                    |               |                        |     |       |          | 85                          | 101 | 95                          |
| 4000                    |               |                        |     |       |          | 90                          | 105 | 89                          |
| 5000                    |               |                        |     |       | 80       | 90                          | 105 | 89                          |
| 5700                    |               |                        |     |       |          | 90                          | 105 | 89                          |
| 6500                    |               |                        |     |       |          | 90                          | 105 | 89                          |
| 2700                    |               |                        |     |       | 90       | 72                          | 80  | 68                          |
| 3000                    |               |                        |     |       |          | 75                          | 82  | 70                          |



Номинальный ток для них составляет 120 мА, типичное значение напряжения при данном токе равно 3,05 В. Тепловое сопротивление составляет около 20°C/Вт.

Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3020 в номинальном режиме (ток 100 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) составляет 51 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе – 56 лм.

При минимальном значении CRI = 80 в холодном (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) и естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белом диапазонах минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 46 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе – 53 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 42 лм, для значений цветовой температуры 3000 К – 44 лм, для значений цветовой температуры 3500 К – 45 лм. Типичное значение светового потока для указанных значений цветовой температуры составляет 49, 50 и 51,5 лм соответственно.

При минимальном значении CRI = 90 в естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белом диапазоне минимальное значение светового потока в номинальном режиме равняется 40 лм, типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе составляет 45 лм. В тёплом белом диапазоне для значения цветовой температуры 2700 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме равняется 36 лм, для значений цветовой температуры 3000 К минимальный световой поток составляет 37 лм, а для значений цветовой температуры 3500 К – 38 лм. Типичное значение светового потока для указанных значений цветовой температуры составляет 41, 42 и 43 лм соответственно.

Световая отдача этих светодиодов в холодном и естественном диапазонах белого света может достигать значения 150 лм/Вт и выше, в тёплом белом диапазоне – значения 140 лм/Вт и выше.

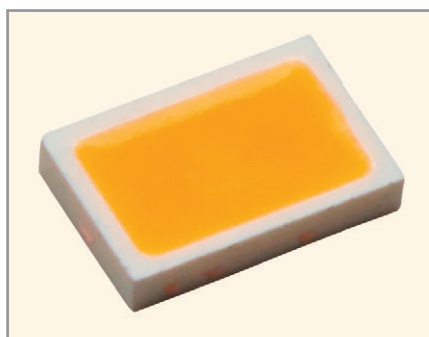


Рис. 6. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3020

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3020 представлены в таблице 6.

Светодиоды серии Luxeon 3020 предназначены для использования в светильниках и светодиодных устройствах, применяемых для внутреннего освещения, в частности, встраиваемых светильниках, светодиодных лампах, светильниках типа Down Light и так далее. Например, это могут быть лампы-ретрофиты, предназначенные для прямой замены люминесцентных ламп.

### Светодиоды LUXEON 4014

Светодиоды серии Luxeon 4014 (см. рис. 7) также являются новым продуктом в линейке компании Philips Lumileds. Данный светодиод выпускается в корпусе размером 4,0 × 1,4 мм. Как и светодиоды серии Luxeon 3535L, эти светодиоды покрывают более широкий диапазон цветовой температуры, а именно от 2200 до 6500 К, и представляют все оттенки белого света – тёплый, естественный и холодный. Номинальный ток для них тоже составляет 30 мА, типичное значение напряжения при



Рис. 7. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 4014

данном токе – 2,9 В. Тепловое сопротивление составляет 45°C/Вт.

Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3535 в номинальном режиме (ток 30 мА) при минимальном значении индекса цветопередачи CRI = 70 в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5000, 5700 и 6500 К) равняется 10 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе составляет 13 лм.

При минимальном значении CRI = 80 в холодном диапазоне белого цвета при значениях цветовой температуры 5700 и 6500 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 9,5 лм, при значении цветовой температуры 5000 К, а также в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме равняется 10 лм. Типичные значения светового потока указанных светодиодов при номинальном токе соответственно составляют 11,5 и 12 лм. В тёплом белом диапазоне для значений цветовой температуры 2200, 2500, 2700

Таблица 6. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3020

| Цветовая температура, К | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 120 мА |      |       | Мин. CRI | Световой поток, лм @ 120 мА |      | Световой поток, лм @ 100 мА |     |
|-------------------------|---------------|------------------------|------|-------|----------|-----------------------------|------|-----------------------------|-----|
|                         |               | мин.                   | тип  | макс. |          | мин.                        | тип  | мин.                        | тип |
| 4000                    | 240           | 2,85                   | 3,05 | 3,35  | 70       | 51                          | 56   | 44                          | 48  |
| 5000                    |               |                        |      |       | 70       | 51                          | 56   | 44                          | 48  |
| 5700                    |               |                        |      |       | 70       | 51                          | 56   | 44                          | 48  |
| 6500                    |               |                        |      |       | 70       | 51                          | 56   | 44                          | 48  |
| 2700                    |               |                        |      |       | 80       | 42                          | 49   | 36                          | 42  |
| 3000                    |               |                        |      |       | 80       | 44                          | 50   | 38                          | 43  |
| 3500                    |               |                        |      |       | 80       | 45                          | 51,5 | 39                          | 44  |
| 4000                    |               |                        |      |       | 80       | 46                          | 53   | 40                          | 46  |
| 5000                    |               |                        |      |       | 80       | 46                          | 53   | 40                          | 46  |
| 5700                    |               |                        |      |       | 80       | 46                          | 53   | 40                          | 46  |
| 6500                    |               |                        |      |       | 80       | 46                          | 53   | 40                          | 46  |
| 2700                    |               |                        |      |       | 90       | 36                          | 41   | 31                          | 35  |
| 3000                    |               |                        |      |       | 90       | 37                          | 42   | 31                          | 36  |
| 3500                    |               |                        |      |       | 90       | 38                          | 43   | 32                          | 37  |
| 4000                    |               |                        |      |       | 90       | 40                          | 45   | 34                          | 38  |

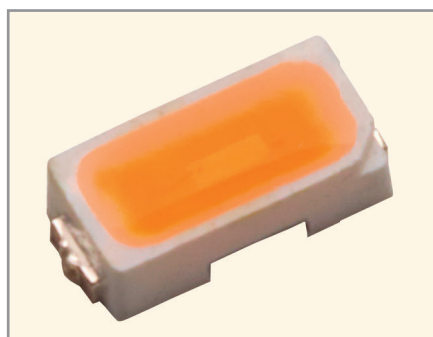


Рис. 8. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 3014

и 3000 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 8,5 лм. Типичные значения светового потока указанных светодиодов при номинальном токе соответствуют 9,7, 10,2, 10,5 и 11 лм. Для значений цветовой температуры 3500 К минимальное значение светового потока в номинальном режиме составляет 9 лм, типичное значение – 11 лм.

При минимальном значении CRI = 90 в холодном (значение цветовой температуры 5000 К) и естественном (значение цветовой температуры 4000 К) белом диапазоне минимальное значение светового потока в номиналь-

ном режиме составляет 10 лм, типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе – 11,1 лм. В тёплом белом диапазоне (значения цветовой температуры 2700 и 3000 К) минимальное значение светового потока в номинальном режиме равняется 8,5 лм, для значений цветовой температуры 3000 К минимальный световой поток составляет 37 лм. Типичные значения светового потока для указанных значений цветовой температуры составляют 9 и 9,3 лм соответственно.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 4014 приведены в таблице 7.

Световая отдача светодиодов серии Luxeon 4014 в холодном диапазоне белого света превышает 140 лм/Вт, в естественном диапазоне значение световой отдачи достигает 135 лм/Вт, в тёплом белом диапазоне значение световой отдачи превышает 120 лм/Вт.

Светодиоды серии Luxeon 4014 предназначены для использования в светильниках и светодиодных устройствах внутреннего освещения, например, во встраиваемых светильниках, применяемых в офисах, общественных местах и так далее.

Таблица 7. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 4014

| Цветовая температура, К | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 30 мА |     |       | Мин. CRI | Световой поток, лм @ 30 мА |      | Световой поток, лм @ 60 мА |     |
|-------------------------|---------------|-----------------------|-----|-------|----------|----------------------------|------|----------------------------|-----|
|                         |               | мин.                  | тип | макс. |          | мин.                       | тип  | мин.                       | тип |
| 5000                    | 90            | 2,7                   | 2,9 | 3,2   | 70       | 10                         | 13   | 18                         | 23  |
| 5700                    |               |                       |     |       | 70       | 10                         | 13   | 18                         | 23  |
| 6500                    |               |                       |     |       | 70       | 10                         | 13   | 18                         | 23  |
| 2200                    |               |                       |     |       | 80       | 8,5                        | 9,7  | 14                         | 17  |
| 2500                    |               |                       |     |       | 80       | 8,5                        | 10,2 | 14                         | 17  |
| 2700                    |               |                       |     |       | 80       | 8,5                        | 10,5 | 15                         | 18  |
| 3000                    |               |                       |     |       | 80       | 8,5                        | 11   | 15                         | 20  |
| 3500                    |               |                       |     |       | 80       | 9                          | 11   | 16                         | 20  |
| 4000                    |               |                       |     |       | 80       | 10                         | 12   | 18                         | 22  |
| 5000                    |               |                       |     |       | 80       | 10                         | 12   | 18                         | 22  |
| 5700                    |               |                       |     |       | 80       | 9,5                        | 11,5 | 17                         | 20  |
| 6500                    |               |                       |     |       | 80       | 9,5                        | 11,5 | 18                         | 22  |
| 2700                    |               |                       |     |       | 90       | 8,5                        | 9    | 14                         | 17  |
| 3000                    |               |                       |     |       | 90       | 8,5                        | 9,3  | 14                         | 17  |
| 4000                    |               |                       |     |       | 90       | 10                         | 11,1 | 17                         | 20  |
| 5000                    |               |                       |     |       | 90       | 10                         | 11,1 | 17                         | 20  |

Таблица 8. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 3014

| Цветовая температура, К | Макс. ток, мА | Напряжение, В @ 60 мА |     |       | Мин. CRI | Световой поток, лм @ 60 мА |     | Световой поток, лм @ 30 мА |
|-------------------------|---------------|-----------------------|-----|-------|----------|----------------------------|-----|----------------------------|
|                         |               | мин.                  | тип | макс. |          | мин.                       | тип | тип                        |
| 2700                    | 100           | 2,8                   | 3,1 | 3,3   | 80       | 18                         | 22  | 11                         |
| 3000                    |               |                       |     |       |          | 19                         | 22  | 12                         |
| 3500                    |               |                       |     |       |          | 20                         | 22  | 12                         |
| 4000                    |               |                       |     |       |          | 21                         | 24  | 13                         |
| 5000                    |               |                       |     |       |          | 21                         | 24  | 13                         |
| 5700                    |               |                       |     |       |          | 22                         | 25  | 14                         |
| 6500                    |               |                       |     |       |          | 22                         | 25  | 14                         |

## Светодиоды Luxeon 3014

Ещё одним продуктом в линейке сверхъярких светодиодов компании Philips Lumileds являются светодиоды серии Luxeon 3014 (см. рис. 8), которые выпускаются в стандартном корпусе размером 3,0 × 1,4 мм. Эти светодиоды перекрывают диапазон цветовой температуры от 2700 до 6500 К и, тем самым, имеют все оттенки белого света – тёплый, естественный и холодный. Минимальный индекс цветопередачи светодиодов серии Luxeon 3014 CRI = 80. Номинальный ток для них составляет 60 мА, типичное значение напряжения при данном токе – 3,1 В. Тепловое сопротивление составляет 35°C/Вт. Минимальный световой поток светодиодов Luxeon 3014 в номинальном режиме (ток 60 мА) в холодном белом диапазоне (значения цветовой температуры 5700 и 6500 К) составляет 22 лм. Типичное значение светового потока для указанных светодиодов в номинальном режиме – 25 лм. При значении цветовой температуры 5000 К и в естественном белом диапазоне (значение цветовой температуры 4000 К) минимальное значение светового потока составляет 21 лм. Типичное значение светового потока указанных светодиодов при номинальном токе равно 24 лм. В тёплом белом диапазоне (значения цветовой температуры 2700, 3000 и 3500 К) минимальные значения светового потока в номинальном режиме соответствуют 18, 19 и 20 лм. Типичное значение светового потока для указанных значений цветовой температуры составляет 22 лм соответственно.

Световая отдача данных светодиодов в холодном диапазоне белого света достигает 135 лм/Вт, в естественном белом диапазоне световая отдача достигает 130 лм/Вт, в тёплом белом диапазоне значение световой отдачи достигает 120 лм/Вт.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 3014 указаны в таблице 8.

Светодиоды серии Luxeon 3014 в основном предназначены для использования в светильниках и светодиодных устройствах для внутреннего освещения, в частности, встраиваемых светильниках и светодиодных лампах, например, лампах-ретрофитах, предназначенных для прямой замены люминесцентных ламп.

## Светодиоды Luxeon 5258

Последним в данном обзоре будет представлена серия светодиодов



Luxeon 5258 (см. рис. 9). По значениям светового потока и потребляемой мощности его скорее следует отнести к мощным светодиодам [4]. Тем не менее автор позволит дать его описание в данной статье, посвящённой сверхъярким светодиодам [4]. Светодиоды этой серии выпускаются в корпусе размером  $5,2 \times 5,8$  мм, который является всё-таки более типичным именно для сверхъярких светодиодов. Однако в серии Luxeon 5258 представлены светодиоды с рабочим напряжением 24 и 96 В. Данные светодиоды выпускаются в тёплом белом диапазоне с цветовой температурой 2700 и 3000 К. Типичный индекс цветопередачи CRI = 82, угол кривой светораспределения равен  $115^\circ$ . Номинальный ток моделей с напряжением 24 В составляет 160 мА, для моделей с напряжением 96 В – 40 мА. Тепловое сопротивление для обоих типов светодиодов составляет  $1,5^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Минимальный световой поток моделей с напряжением 24 В светодиодов Luxeon 5258 при рабочем токе 160 мА для значения цветовой температуры 2700 К составляет 460 лм. Типичное значение светового потока данных светодиодов при указанном токе равняется 485 лм. Для значения цветовой температуры 3000 К минимальное значение светового потока при рабочем токе 160 мА составляет 475 лм. Типичное значение светового потока для данной цветовой температуры при указанном токе – 500 лм.

Минимальный световой поток моделей светодиодов Luxeon 5258 с напряжением 96 В при рабочем токе 40 мА для значения цветовой температуры 2700 К составляет 420 лм. Типичное значение светового потока данных светодиодов при указанном токе – 445 лм. Для значения цветовой температуры 3000 К минимальное значение светового потока при рабочем токе 40 мА составляет 430 лм, типичное значение светового потока для указанной цветовой температуры при указанном токе – 458 лм.

Световая отдача данных светодиодов Luxeon 5258 с напряжением 24 В достигает 125 лм/Вт. С напряжением 96 В световая отдача достигает 120 лм/Вт, а в тёплом белом диапазоне значение световой отдачи – 110 лм/Вт.

Основные характеристики светодиодов Luxeon 5258 представлены в таблице 9.

Светодиоды серии Luxeon 5258 предназначены для использования в свето-

диодных устройствах для внутреннего освещения, среди которых основными являются различные типы светодиодных лам и встраиваемых точечных светильников, где требуются высокий световой поток при компактных размерах источника.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённый в данной статье обзор новых изделий, представленных в светодиодной линейке компании Philips Lumileds, показывает, что основываясь на имеющемся опыте, специалисты компании продолжают разрабатывать новые интересные продукты и успешно осваивают новые перспективные направления. Это позволяет компании Philips Lumileds оставаться среди лидеров светодиодного рынка по производству мощных светодиодов и светодиодных модулей [9–13]. Достаточно чёткая сегментация изделий компании под определённые направления светотехники делает их весьма привлекательными для разработчиков светодиодных осветительных систем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Юнович А.Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твёрдых растворов. Светотехника. 1996. Вып. 5/6. С. 2–7.
2. Юнович А.Э. Ключ к синему лучу или о светодиодах и лазерах, голубых и зелёных. Химия и жизнь. 1999. № 5–6. С. 46–48.
3. Туркин А.Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике. Компоненты и технологии. 2011. № 5. С. 176–180.
4. Туркин А.Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы. Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5. С. 28–33.
5. Туркин А.Н. Обзор развития технологии полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN). Полупроводниковая светотехника. 2011. № 6. С. 44–47.
6. Туркин А.Н., Юнович А.Э. Лауреаты Нобелевской Премии 2014 года: по физике – И. Акасаки, Х. Аmano, С. Накамура. 2015. Природа. № 1. С. 75–81.

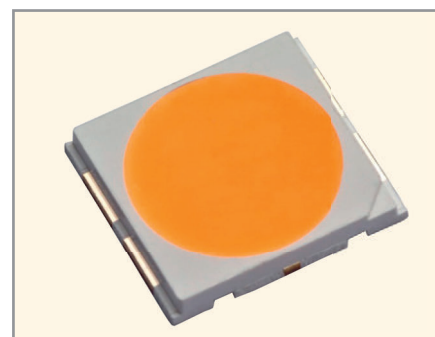


Рис. 9. Сверхъяркие светодиоды серии Luxeon 5258

7. Тринчук Б.Ф. Светосигнальная аппаратура на светодиодах. Светотехника. 1997. № 5. С. 6–11.
8. Светодиоды и их применение для освещения. Под общей редакцией Академика АЭН РФ Айзенберга Ю.Б. Московский Дом Света. 2012. С. 280. М. Знак.
9. Туркин А.Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее. Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2. С. 6–9.
10. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Мощные светодиоды Philips Lumileds – от истоков до новинок рынка. Современная электроника. 2013. № 6. С. 24–29.
11. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Обзор новых светодиодных продуктов компании Philips Lumileds. Полупроводниковая светотехника. 2013. № 5. С. 30–32.
12. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Новинки светодиодной продукции компании Philips Lumileds. Современная электроника. 2014. № 6. С. 50–54.
13. Туркин А. Новые продукты в светодиодной линейке компании Philips Lumileds. Полупроводниковая светотехника. 2014. № 5. С. 50–52.
14. Дорожкин Ю., Матешев И., Туркин А. Светодиодные модули серии CXA компании Cree: характеристики и применение. Полупроводниковая светотехника. 2013. № 1. С. 36–39.
15. Дорожкин Ю., Туркин А., Червинский М. Новые семейства светодиодных модулей серии CXA компании Cree. Полупроводниковая светотехника. 2014. № 1. С. 36–39.



Таблица 9. Основные характеристики мощных светодиодов Luxeon 5258

| Цветовая температура, К | Угол, ° | Тип CRI | Напряжение, В |     |       | Ток, мА | Световой поток, лм @ 15 мА |     |
|-------------------------|---------|---------|---------------|-----|-------|---------|----------------------------|-----|
|                         |         |         | мин.          | тип | макс. |         | мин.                       | тип |
| 2700                    | 115     | 82      | 22            | 25  | 27    | 160     | 460                        | 485 |
| 3000                    |         |         |               |     |       |         | 475                        | 500 |
| 2700                    |         |         | 96            | 97  | 98    | 40      | 420                        | 445 |
| 3000                    |         |         |               |     |       |         | 430                        | 458 |

# Обеспечение радиационной стойкости МОП-транзисторов: влияние одиночных эффектов

Алексей Соколов (Москва)

В статье приведён обзор основных одиночных радиационных эффектов, влияющих на работу силовых радиационно-стойких МОП-транзисторов, а также последние данные испытаний на стойкость к одиночным сбоям.

## Введение

Силовые полевые МОП-транзисторы широко используются в бортовых системах космических аппаратов в цепях синхронного выпрямления, в качестве основных элементов преобразователей в системах электропитания и силовых ключей.

Задача разработки и серийного производства отечественной радиационно-стойкой компонентной базы в целях импортозамещения чрезвычайно актуальна в настоящее время. Так, в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2007 г. №809 о федеральной целевой программе «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 гг.», разработка и серийное производство радиационно-стойких отечественных силовых транзисторов является одним из приоритетных направлений развития российской электронной отрасли [1].

В настоящее время в РФ производятся силовые транзисторы, которые не отвечают современным требованиям, предъявляемым производителями космической техники к компонентной базе в том, что касается электрических характеристик и стойкости к ионизирующим излучениям (см. табл. 1). Поэтому ЗАО «Промышленные технологии» ведёт разработку радиационно-стойких силовых МОП-транзисторов n- и p-типов с блокирующими напряжениями 200, 100 и 60 В.

В 1970-х гг. началось производство силовых планарных МОП-транзисторов по технологии двойной диффузии. Силовые МОП-транзисторы имеют вертикальную структуру – носители заряда движутся от истока, расположенного на поверхности кристалла, вертикально к стоку на другой стороне кристалла. В структуре прибора также имеется эпитаксиальный слой кремния, толщина и уровень легирования которого определяется значением блокиру-

ющего напряжения, на которое рассчитан прибор.

В 1990-х гг. появились силовые МОП-транзисторы, произведённые по технологии «трэнч», то есть канавок, полученных плазмохимическим травлением эпитаксиальных пластин кремния. По сравнению с планарной, эта технология обладает следующими преимуществами:

- радикальным снижением сопротивления открытого канала [2];
- низким значением произведения заряда затвора на сопротивление открытого канала [3];
- улучшенными динамическими характеристиками вследствие уменьшения паразитных ёмкостей [4].

На рисунке 1 показан кристалл силового транзистора, разрабатываемого ЗАО «Промышленные технологии».

Преимущества электрических характеристик МОП-транзисторов с «трэнч»-затворами, по сравнению с обычными планарными транзисторами, стимулировали выпуск радиационно-стойких приборов, специально созданных для космических применений. Радиационная стойкость таких МОП-транзисторов требует дополнительных испытаний, поскольку наличие затвора в канавке и более сложная картина

Таблица 1. Сравнительная характеристика отечественных и произведённых в СНГ силовых МОП-транзисторов с зарубежными аналогами

| Наименование параметра, единицы измерения         | Буквенное обозначение | Производитель, страна производства, наименование |                                                                                                            |                                                                                 |                                                                                  |                                                                                  |
|---------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   |                       | ОАО «Ангстрем», РФ, 2П170Б                       | ОАО «Интеграл», Республика Беларусь, 2П7145А/ИМ                                                            | Фрязинский завод мощных транзисторов ОАО «ЦНИИ «Дельфин», РФ, 2П7160И           | International Rectifier, США, IRHNA67260                                         | Транзистор, разрабатываемый ЗАО «Промышленные технологии», РФ                    |
| Максимально допустимое напряжение сток–исток, В   | $U_{си}$ , макс       | 200                                              | 200                                                                                                        | 200                                                                             | 200                                                                              | 200                                                                              |
| Постоянный ток стока, А                           | $I_c$ , макс          | 45 <sup>1</sup>                                  | 30 <sup>3</sup>                                                                                            | 35 <sup>5</sup>                                                                 | 56 <sup>7</sup>                                                                  | 56 <sup>9</sup>                                                                  |
| Сопротивление сток–исток в открытом состоянии, Ом | $R_{си}$ , отк        | 0,035 <sup>2</sup>                               | 0,085 <sup>4</sup>                                                                                         | 0,055 <sup>6</sup>                                                              | 0,028 <sup>8</sup>                                                               | 0,020 <sup>10</sup>                                                              |
| Пороговое напряжение, В                           | $U_{зи}$ , пор        | 2...4                                            | 2...4                                                                                                      | -                                                                               | 2...4                                                                            | 2...4                                                                            |
| Максимально допустимое напряжение затвор–исток, В | $U_{зи}$ , макс       | ±20                                              | ±20                                                                                                        | ±20                                                                             | ±20                                                                              | ±20                                                                              |
| Ток утечки затвора, нА                            | $I_{з,ут}$            | ±100                                             | ±100                                                                                                       | ±100                                                                            | ±100                                                                             | ±100                                                                             |
| Показатели радиационной стойкости                 |                       | -                                                | 7И1<br>7С1<br>7С4 по группе исполнения 1Ус<br>7И7 по группе исполнения 2Ус<br>7И6 по группе исполнения 4Ус | 7И1<br>7И6<br>7И7 по группе исполнения 3У с 7С1<br>7С4 по группе исполнения 1Ус | Стойкость по накопленной дозе: 300 крад<br>ЛПЗ к ТЗЧ: 60 МэВ·см <sup>2</sup> /мг | Стойкость по накопленной дозе: 300 крад<br>ЛПЗ к ТЗЧ: 80 МэВ·см <sup>2</sup> /мг |

Примечания к Таблице 1. Условия измерения параметров

<sup>1</sup> Ткорпуса = 25°C

<sup>3</sup>  $U_{зи} = 10$  В,  $U_{си} = 4$  В, Ткорпуса = 25°C

<sup>5</sup>  $U_{зи} = 10$  В,  $U_{си} = 4$  В, Ткорпуса = 25°C

<sup>7</sup>  $U_{зи} = 12$  В, Ткорпуса = 25°C

<sup>9</sup>  $U_{зи} = 12$  В, Ткорпуса = 25°C

<sup>2</sup>  $U_{зи} = 10$  В,  $I_c = 20$  А

<sup>4</sup>  $U_{зи} = 10$  В,  $I_c = 18$  А

<sup>6</sup>  $U_{зи} = 10$  В,  $I_c = 12$  А

<sup>8</sup>  $U_{зи} = 12$  В,  $I_c = 40$  А

<sup>10</sup>  $U_{зи} = 12$  В,  $I_c = 40$  А



СДЕЛАНО В РОССИИ!



## Разработка и производство электрифицированных систем и их компонентов:

ВЧ, СВЧ кабельные сборки

Электрические  
соединители

Провода

Кожухи, аксессуары

Элементы крепления  
и монтажа жгутов

Экранирующие плетёнки

Линии передачи информации  
мультиплексного канала  
информационного обмена  
(ЛПИ МКИО)

Низкочастотные жгуты

ВОЛС

143441, Московская область  
Красногорский район, 69 км МКАД  
Бизнес-Парк «Гринвуд», стр. 17  
тел.: (495) 721-85-00; факс: (495) 721-86-00  
E-mail: [info@ptkgroup.ru](mailto:info@ptkgroup.ru) [www.ptkgroup.ru](http://www.ptkgroup.ru)

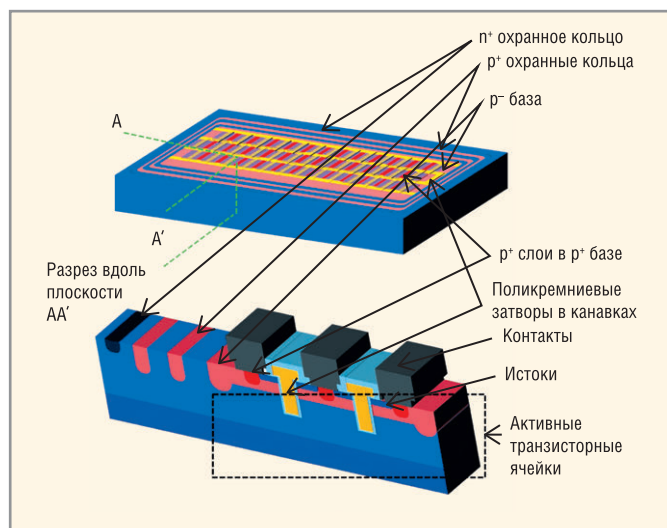


Рис. 1. Кристалл силового 200-вольтового n-канального МОП-транзистора

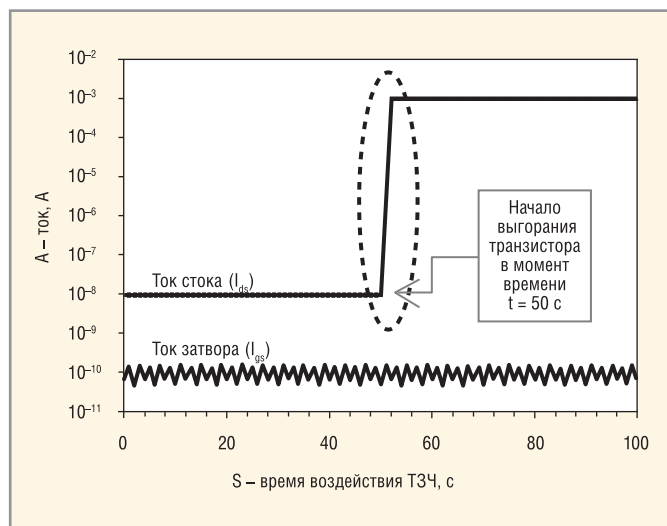


Рис. 3. Токи стока и затвора, возникающие вследствие выгорания транзистора под воздействием ТЗЧ [5]

распределения силовых линий электрического поля (по сравнению с планарным ДМОП-транзистором), в процессе работы транзистора усложняет его реакцию на воздействие ионизирующих излучений.

Электрические характеристики МОП-транзисторов в значительной степени подвержены деградации из-за накопленной дозы радиации и одиночных радиационных эффектов (одиночного эффекта выгорания и одиночного эффекта пробоя подзатворного диэлектрика). Рассмотрим более подробно влияние одиночных эффектов на характеристики мощных МОП-транзисторов, в частности, с «тrench»-затворами.

### ОДИНОЧНЫЙ ЭФФЕКТ ВЫГОРАНИЯ

Одиночные радиационные эффекты возникают из-за взаимодействия высокоэнергетических тяжёлых ионов и протонов (тяжёлых заряжен-

ных частиц, ТЗЧ) с полупроводниковым материалом транзистора. Частицы ионизируют атомы кремния на своём пути следования в толще материала. Кроме того, вторичные частицы, возникающие из-за упругих и неупругих столкновений ядер атомов материала, также приводят к его ионизации.

На рисунке 2 представлены вольтамперные характеристики МОП-транзистора на различных стадиях электрического пробоя [5]. При увеличении напряжения сток-исток до определённого значения, МОП-транзистор входит в режим нормального лавинного пробоя. С ростом напряжения на истоке данный процесс продолжается до тех пор, пока падение напряжения внутри p-области не активирует паразитный биполярный транзистор. После этого МОП-транзистор уже не может выдерживать высокие значения напряжения сток-исток. При этом ток стока продолжает увеличиваться, а напряже-

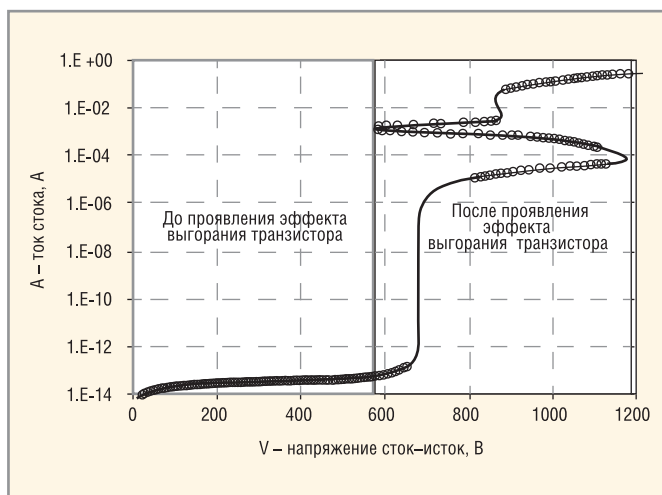


Рис. 2. Квазистационарные вольтамперные характеристики МОП-транзистора в состоянии лавинного пробоя

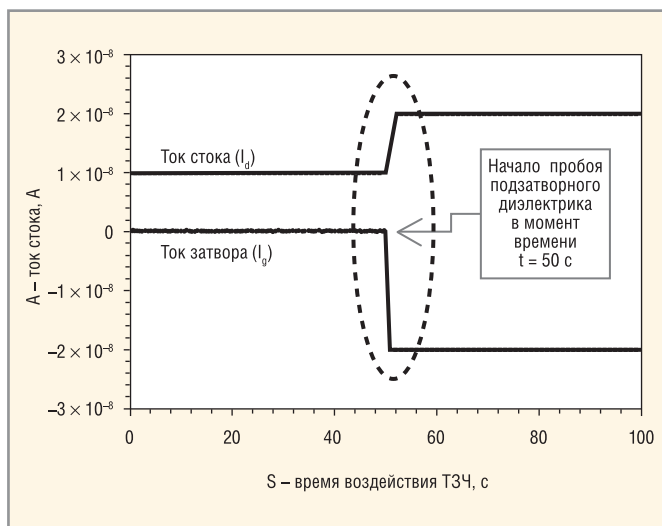


Рис. 4. Токи стока и затвора, возникающие вследствие пробоя подзатворного диэлектрика транзистора под воздействием ТЗЧ

ние на стоке – падать. Из-за обратной связи наступает вторичный пробой, который приводит к короткому замыканию между стоком и истоком, что разрушает прибор.

На рисунке 3 представлены графики изменения токов утечки стока и затвора до и после облучения ТЗЧ, которые вызывают выгорание транзистора. В момент времени  $t = 0$  ток истока равен  $10^{-8}$  А, а ток затвора –  $10^{-10}$  А. Перед переходом транзистора в состояние выгорания вышеуказанные токи утечки определяются параметрами прибора, а также измерительной установкой. В момент времени  $t = 50$  нс наблюдается значительное увеличение тока стока. При этом ток затвора остаётся неизменным.

### ОДИНОЧНЫЙ ЭФФЕКТ ПРОБОЯ ПОДЗАТВОРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА

При прохождении ТЗЧ в эпитаксиальном слое силового транзистора



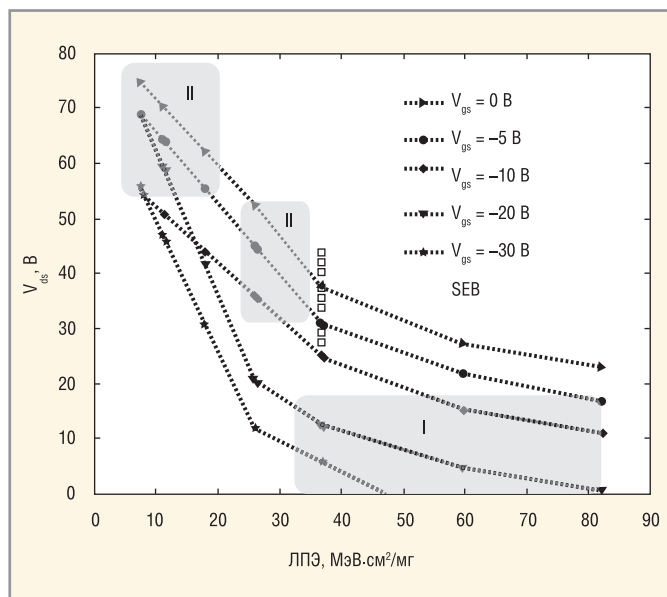


Рис. 5. Пороговые напряжения, при которых начинается выгорание мощного транзистора и возникает пробой подзатворного диэлектрика:

$V_{ds}$  – напряжение сток-исток;  $V_{gs}$  – напряжение затвор-исток

генерируются электронно-дырочные пары. В вертикальном электрическом поле происходит разделение заряда: дырки дрейфуют в сторону интерфейса Si/SiO<sub>2</sub>, а электроны – в сторону стока. Кроме того, электроны и дырки радикально диффундируют из ионизационного следа.

На границе окисел-полупроводник накапливается избыточная концентрация дырок. Это связано с тем, что дырки дрейфуют в горизонтальном электрическом поле медленнее, чем электроны – в вертикальном. Аккумуляция дырок на границе Si/SiO<sub>2</sub> приводит к появлению дополнительного заряда, а значит дополнительного электрического поля, которое запускает пробой подзатворного окисла. На рисунке 4 представлены электрические характеристики транзистора (ток стока и ток затвора) до и после пробоя подзатворного диэлектрика [5]. В момент времени  $t = 0$  нс ток стока равен  $10^{-8}$  А, а ток затвора –  $10^{-10}$  А. В момент времени  $t = 50$  нс ток затвора значительно увеличивается. Также ведёт себя и ток стока.

### Условия проявления одиночного эффекта пробоя подзатворного диэлектрика и эффекта выгорания

На рисунке 5 представлены графики пороговых напряжений, при которых наступает пробой подзатворного диэлектрика при больших значениях напряжения на затворе. При этом напряжение сток-исток может быть малым (см. область I на рис. 5) [6].

В области малых значений напряжения сток-исток не проявляет себя эффект выгорания, так как пиковая напряжённость электрических полей в эпитаксиальном слое недостаточна для поддержания лавинного пробоя. При малых напряжениях на затворе транзистора и достаточно больших значениях напряжения сток-исток возможно совместное проявление выгорания транзистора и пробоя диэлектрика. В области III напряжение на затворе слишком мало, чтобы инициировать пробой диэлектрика первым (малые значения линейных потерь энергии – ЛПЭ), однако вероятность выгорания транзистора высока из-за высокого

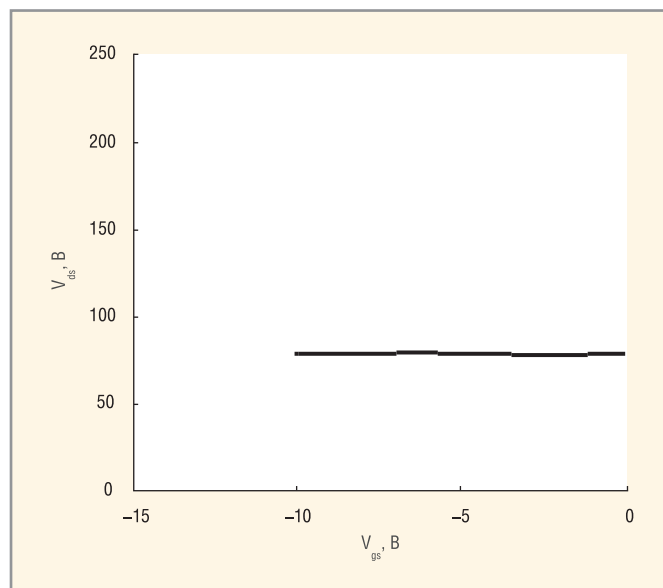


Рис. 6. Результаты испытаний на одиночные радиационные эффекты для SUM45N25-58 [7]:  $V_{ds}$  – напряжение сток-исток;  $V_{gs}$  – напряжение затвор-исток

напряжения сток-исток. Следовательно, доминирующим механизмом катастрофического отказа является одиночный эффект выгорания транзистора. В области II возможно либо выгорание транзистора, либо пробой диэлектрика под воздействием ионизирующих излучений (для одинаковых значений напряжений  $V_{gs}$ ,  $V_{ds}$  и ЛПЭ).

### Результаты испытаний транзисторов, изготовленных по технологии «трэнч», на одиночные эффекты

В настоящее время опубликовано незначительное число результатов испытаний, описывающих влияние одиночных радиационных эффектов на электрические характеристики «трэнч»-МОП-транзисторов. Далее представлены результаты испытаний воздействия ТЗЧ на МОП-транзисторы следующих производителей: International Rectifier (США) – IRHLF87Y20SCS, Vishay – SUM45N25-58, Vishay – Si7431DP. Электрические характеристики транзисторов сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Электрические характеристики силовых МОП-транзисторов с изоляцией канавками

| Наименование параметра, единицы измерения         | Буквенное обозначение | International Rectifier<br>IRHLF87Y20SCS                                            | Vishay<br>SUM45N25-58  | Vishay<br>Si7431DP     |
|---------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Максимально допустимое напряжение сток-исток, В   | $U_{си, макс}$        | 20                                                                                  | 250                    | –200                   |
| Постоянный ток стока, А                           | $I_{с, макс}$         | 12                                                                                  | 45                     | –3,8                   |
| Сопротивление сток-исток в открытом состоянии, Ом | $R_{си, отк}$         | 0,032                                                                               | 0,058                  | 0,174                  |
| Показатели радиационной стойкости                 |                       | Стойкость по накопленной дозе: 100 крад<br>ЛПЭ к ТЗЧ:<br>60 МэВ·см <sup>2</sup> /мг | Не радиационно-стойкий | Не радиационно-стойкий |

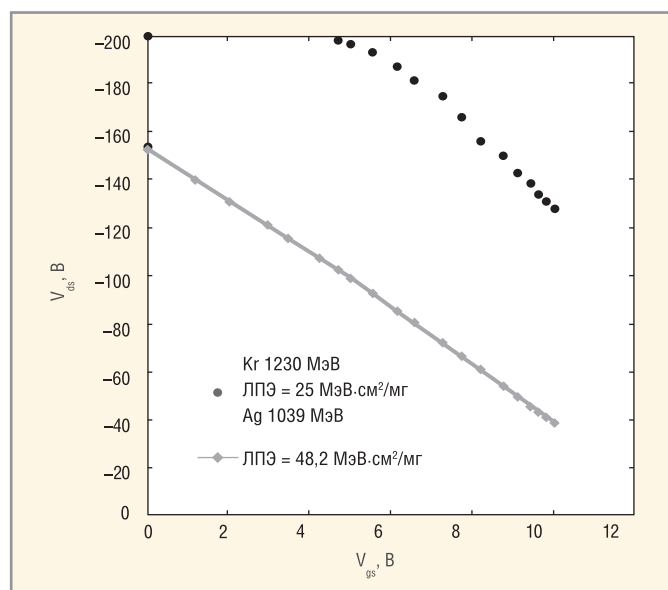


Рис. 7. Результаты испытаний на одиночные радиационные эффекты для Si7431DP [8]:  $V_{ds}$  – напряжение стока-исток;  $V_{gs}$  – напряжение затвор-исток

Из анализа рисунков 6–8 следует, что только один из рассматриваемых приборов (International Rectifier) не изменяет своего значения пробивного напряжения (при приложенных напряжениях затвор-исток вплоть до ~2,5 В) под воздействием ТЗЧ (в данном случае ионов брома, йода и золота). С ростом значений напряжения затвор-исток происходит быстрая деградация прибора. Транзистор SUM45N25-58 производства Vishay обеспечивает радиационную стойкость только для половины заявленного блокирующего напряжения (см. рис. 6). Характеристики р-канального транзистора Si7431DP (Vishay) стабильны при облучении ионами криптона до напряжений затвор-исток 5 В (см. рис. 7).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование технологии изоляции канавками в производстве радиационно-стойких силовых полу-

проводниковых приборов – новое направление развития электроники для космических применений. Сложная физика одиночных радиационных эффектов и другая конструкция полупроводниковых приборов требуют модификации существующих конструктивно-технологических подходов обеспечения радиационной стойкости вновь разрабатываемых приборов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2007 г. №809 о федеральной целевой программе «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 гг.». [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_158088](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158088).
2. Jayant Baliga B. Trends in Power Semiconductor Devices. IEEE Transactions on Electron Devices. 1996. V. 43. №10. P. 1717–1729.
3. Ma L., Amali A. et al. New Trench MOSFET Technology for DC/DC Converter Appli-

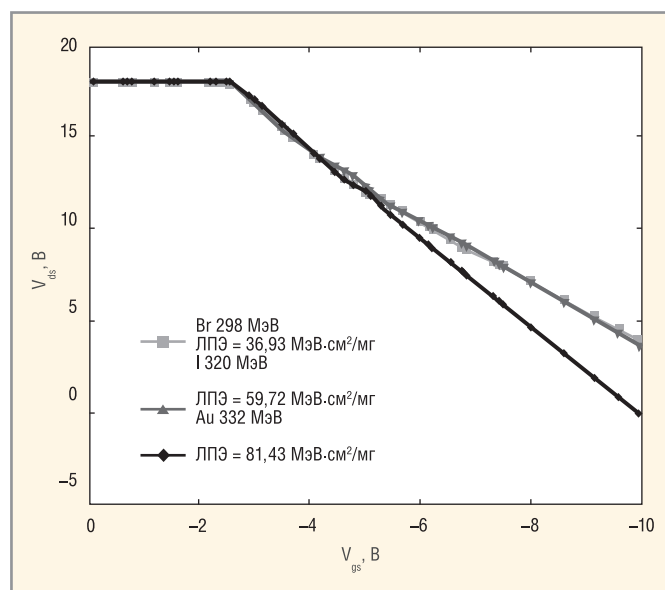


Рис. 8. Результаты испытаний на одиночные радиационные эффекты для IRH87Y20SCS [9]:  $V_{ds}$  – напряжение стока-исток;  $V_{gs}$  – напряжение затвор-исток

cations. Power Semiconductor Devices and ICs. Proceedings. 2003. P. 354–357.

4. Lorenz L. Key Power Semiconductor Devices and Development Trends. International Workshop on Physics of Semiconductor Devices. 2007. P. 743–750.
5. Titus J. L. An Updated Perspective of Single Event Gate Rupture and Single Event Burnout in Power MOSFETs. IEEE Transactions on nuclear science. 2013. V. 60. № 3. P. 1912–1920.
6. Allenspach M. SEGR and SEB in N-Channel Power MOSFETs. IEEE Transactions on Nuclear Science. 1996. V. 43. № 6. P. 2927–2931.
7. Lauenstein J.-M. et al. Recent Radiation Test Results for Power MOSFETs. Proceeding of 2013 Nuclear and Space Radiation Effects Conference. 2013.
8. Lauenstein J.-M. et al. SEE Test Report, V. 2. Single Event Effects Testing of the Vishay Si7431DP P-Type Power MOSFET. 2011.
9. [www.irf.com/product-info/datasheets/data/irhlf87y20.pdf](http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irhlf87y20.pdf).



## Новости мира News of the World Новости мира

### Ivideon привлёк \$4 млн от венчурного фонда Impulse VC

2 июня 2015 г. на «Startup Village» между венчурным фондом Impulse VC и сервисом облачного видеонаблюдения Ivideon (резидентом «Сколково») была заключена сделка об инвестировании.

Ivideon – это сервис облачного видеонаблюдения через Интернет, который позволя-

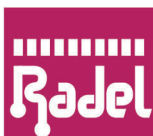
ет наблюдать за тем, что дорого, где бы вы ни были. Ivideon обеспечивает более миллиона пользователей качественным сервисом каждый день.

К середине 2015 года Ivideon превратился в глобальный и развитый IT-бизнес, имеющий большой объём продаж не только в России, но и в США и Европе. Поэтому, как и любой быстрорастущей

компании, Ivideon потребовались инвестиции для ускорения роста и развития. Верным решением для достижения этой цели было привлечение средств от инвестиционного фонда. Инвестиции пойдут на международную экспансию сервиса Ivideon в Европу, а также Северную и Южную Америку.

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



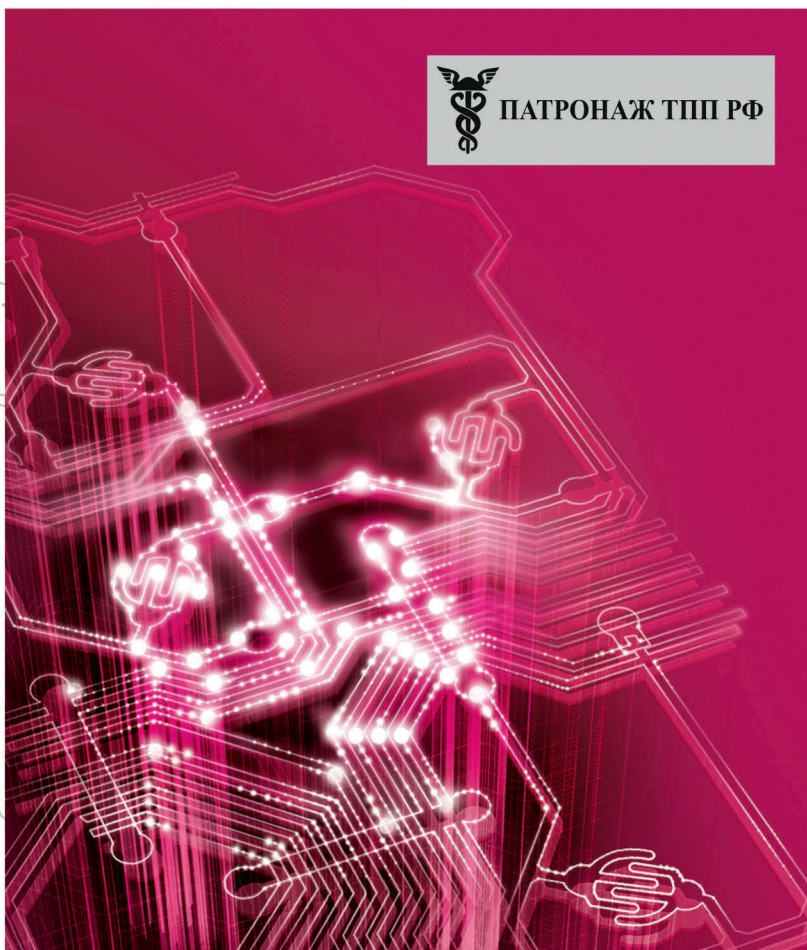


# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ПАТРОНАЖ ТПП РФ



Реклама

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

Организатор выставки:



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

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

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

## Новости мира News of the World Новости мира

**Keysight Technologies: PAM-4 для осциллографов реального времени**

Компания Keysight Technologies представила измерительное программное обеспечение, которое помогает быстро и точно измерять параметры сигналов PAM-4 (амплитудно-импульсная модуляция с четырьмя уровнями амплитуды) с помощью осциллографов реального времени компании Keysight серий V, Z и S. ПО анализа Keysight N8827A PAM-4 (для осциллографов серий V и Z) и ПО анализа N8827B PAM-4 (для осциллографов серий S) позволяет в полной мере анализировать электрические сигналы PAM-4.

Для приложений, связанных с вычислительной и мобильной техникой, требуется нечто большее, чем базовая инфраструктура Интернета. Чтобы сделать возможным повышение скорости передачи данных и производительности вычислительных центров, необходимы высокоскоростные каналы связи между серверами системы. Наиболее распространённые коммуникационные технологии, как правило, используют метод кодирования NRZ (без возврата к нулю). Но, по мнению многих экспертов, NRZ не в состоянии обеспечить скорость передачи 56 Гбит/с. Один из способов решения этой проблемы заключается в том, чтобы перейти от NRZ к амплитудно-импульсной модуляции. Это позволит значительно увеличить пропускную способность высокоскоростных цифровых каналов связи.

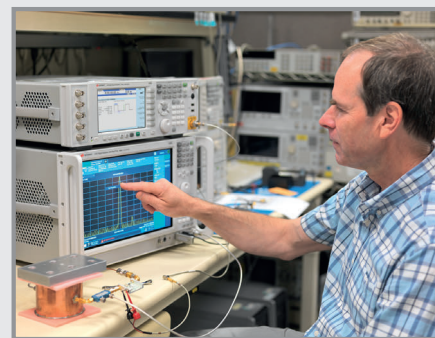
Несколько комитетов стандартизации активно продвигают технологию PAM-4, которая позволяет достичь больших скоростей передачи в том же канале, по сравнению с традиционной сигнализацией NRZ. И хотя для измерения сигналов PAM-4 используются некоторые традиционные измерительные алгоритмы NRZ, полный анализ характеристик системы требует применения уникальных методик измерения PAM-4.

«В процессе перехода от кодирования NRZ к PAM-4 наши заказчики сталкиваются с множеством проблем при проектировании и выполнении измерений, — отметил вице-президент и генеральный менеджер подразделения осциллографов и анализа протоколов компании Keysight Дэйв Киприани (Dave Cipriani). — Наше новое программное обеспечение для осциллографов реального времени предлагает функции отладки и анализа сигналов PAM-4, помогая инженерам решать эти проблемы и быстро продвигать свои изделия на рынок».

ПО анализа N8827A/B PAM-4 позволяет измерять следующие параметры:

- ширину, высоту и наклон глазка;
- амплитуду, уровень шумов и наклон уровня;
- линейность амплитуды.

Инженеры могут объединить опцию N8827A/B PAM-4 с существующим программным обеспечением для осциллографов реального времени Infiniium и получить более мощные аналитические функции:



- эквалайзеры PAM-4 (LFE, CTLE), реализуемые с помощью ПО коррекции последовательных данных N5461A InfiniiSim;
- встраивание/исключение каналов PAM-4 с помощью инструментов преобразования сигналов N5465A InfiniiSim;
- анализ джиттера и вертикального шума цифровых последовательностей IEEE JP03 с помощью программных средств N8813A EZJIT Complete.

Метод кодирования PAM-4 использует многоуровневые сигналы, которые сильно подвержены шумам, поэтому осциллографы реального времени серий V, Z и S предлагают минимальный уровень собственных шумов среди широкополосных осциллографов реального времени. Используя, например, осциллограф серии Z с полосой пропускания 63 ГГц, разработчики могут точно анализировать электрические сигналы PAM-4 со скоростями до 32 Гбод. Кроме того, инженеры могут выполнять автономный постанализ сохранённых сигналов PAM-4 с помощью ПО осциллографического анализа N8900A Infiniium Offline, установленного на ПК.

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

**Новое поколение «Эльбруса» пойдёт в серию в 2016 г.**

«Объединённая приборостроительная корпорация», входящая в Ростех, объявила о завершающем этапе разработки российского микропроцессора нового поколения — 8-ядерного «Эльбруса-8С» на 28 нм техпроцессе. Как сообщил генеральный директор корпорации Александр Якунин, на стадию серийного производства чип должен выйти в 2016 г.

«Первоочередная задача российской электронной промышленности — импортозамещение именно ключевых компонентов оборудования. От них напрямую зависят функциональность техники, её корректная работа, защищённость от внешних вмешательств и угроз, — заявил Александр Якунин. — Прорывной результат достигнут в рамках проекта «Байкал», который мы ведём



## СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ МАГНИТНОГО МОМЕНТА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ МАГНИТОМЕТРЫ СРЕДСТВА КАЛИБРОВКИ

**от отечественного  
производителя**

ООО «НПО ЭНТ»  
г. Санкт-Петербург,  
ул. 2-я Алексеевская, д. 7, пом. 4  
тел./факс: (812) 301-8693  
E-mail: [info@nvlaboratory.spb.ru](mailto:info@nvlaboratory.spb.ru)  
<http://www.nvlaboratory.spb.ru/>



Реклама



# Новости мира News of the World Новости мира

совместно с компанией «Т-Платформы» – только что выпущен первый инженерный образец процессора «Байкал-Т» с революционным для России техпроцессом 28 нм. Следующей российской разработкой будет новое поколение процессоров «Эльбрус» на таком же современном техпроцессе. Его создание вышло на завершающую стадию, очередной инженерный выпуск сейчас проходит тестирование. Работы ведёт наш Институт электронных управляющих машин (ИНЭУМ) имени И.С. Брука при участии компании МЦСТ. В конце этого года процессор должен выйти на государственные испытания, в 2016 г. его планируется запустить в серийное производство».

Архитектура, схемотехника и топология микропроцессора «Эльбрус-8С» полностью разработаны специалистами ИНЭУМа и МЦСТ. Восьмиядерный чип обладает тактовой частотой 1,3 ГГц, его производительность составляет 250 Гфлопс. Для сравнения производительность предыдущего поколения микропроцессора, 4-ядерного «Эльбрус-4С», построенного на техноло-

гии 65 нм, в пять раз ниже – 50 Гфлопс, а его тактовая частота – 800 МГц.

Вместе с новым процессором «Эльбрус-8С» планируется выпустить и новый контроллер периферийных интерфейсов – микросхему КПИ-2. Она позволит системам на «Эльбрусе-8С» выйти на современный уровень скорости обмена с внешними устройствами. В устройстве будет реализована шина PCI-Express 2.0 на 20 линий, три контроллера Gigabit Ethernet, 8 портов SATA 3.0.

«Применение техники с зарубежными ключевыми компонентами создаёт большие угрозы в критически важных для страны сферах управления и производства. Прежде всего, с точки зрения защиты данных и скрытых возможностей влияния на работу оборудования извне, – говорит Александр Якунин. – Появление у России собственных чипов на современном 28 нм техпроцессе – это огромный шаг вперёд с точки зрения развития российских технологий и возможностей создания полностью защищённых решений в области вычислительных машин, телеком-оборудования. Процесс разработок

в этом направлении наращивает обороты: в конце этого – начале следующего года «Т-Платформы» должны завершить работу над новым процессором «Байкал-М», а в 2018 г. мы планируем представить следующее поколение «Эльбруса» – 8-ядерный «Эльбрус-16С» на той же технологии 28 нм, с частотой 1,5 ГГц и производительностью уже свыше 512 Гфлопс».

Напомним, что в составе Госкорпорации Ростех «ОПК» определена головной компанией, отвечающей за разработку вычислительной техники, телекоммуникационного оборудования и сопутствующего ПО для гражданского рынка. В настоящий момент корпорация выводит на рынок первые образцы импортозамещающей техники связи и передачи данных – IP-АТС, маршрутизаторы и коммутаторы операторского класса. В перспективе большая часть оборудования производства «ОПК» будет строиться на российских микропроцессорах нового поколения.

**Пресс-служба АО «Объединённая приборостроительная корпорация»**



Новые осциллографы InfiniiVision 3000T с полосой пропускания от 100 МГц до 1 ГГц обладают широким набором функций, а также высококачественным сенсорным экраном. Функция зонного триггера, позволяющая осуществить запуск по выделенной зоне на экране, значительно ускоряет и упрощает работу с осциллографом. Осциллографы Keysight обеспечивают функциональность шести приборов в одном – осциллограф, логический анализатор (16 каналов), анализатор протоколов, цифровой вольтметр, генератор сигналов стандартной/произвольной формы и 8-ми разрядный суммирующий счетчик – частотомер. Единственный в данном классе осциллограф с возможностью коррелированного анализа во временной и частотной областях с помощью оконного БПФ позволяет решать комплексные задачи измерений.

## Осциллографы Keysight InfiniiVision 3000T серии X

Полоса пропускания: 100 МГц – 1 ГГц

Скорость обновления сигналов: 1 млн. осциллограмм/с

Сенсорный экран: 8,5 дюймов, емкостной

Запуск по выделенной области экрана: Да

Частота дискретизации АЦП: 5 ГВ/б/с

## Новый взгляд на осциллографы Keysight InfiniiVision 3000T серии X от 100 МГц до 1 ГГц



Реклама

«ЭрисКом» - официальный дистрибьютор Keysight Technologies в России.

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

# Матричные системы электропитания – новый этап развития технологий АФАР

Александр Гончаров, AEPS GROUP

В статье обсуждаются особенности построения матричных систем распределённого электропитания для активных фазированных антенных решёток.

Распределённые системы электропитания, состоящие из большого числа модулей, завоевывают всё большую популярность. Оптимизация структуры такой системы электропитания позволяет повысить её эффективность и надёжность, а также снизить стоимость. В последнее время во многих приложениях находит применение матричная структура расположения модулей питания. Будем называть такие системы матричными системами распределённого электропитания (МСРЭП).

Группа российско-чешских компаний AEPS GROUP, которая занимается разработкой систем электропитания для авиации, радиолокации, желез-

нодорожного транспорта и других отраслей промышленности, предлагает решения для построения матричных систем распределённого электропитания различного назначения. Ярким примером МСРЭП может служить система электропитания активной фазированной антенной решётки (АФАР) (см. рис. 1).

Главным элементом АФАР, который в значительной степени определяет её стоимость, вес и тактико-технические характеристики, является приёмно-передающий модуль (ППМ). Количество ППМ в АФАР летательных аппаратов сегодня может превышать 2000 штук, а в наземной аппаратуре их количество доходит до 10 000 и более штук.

В состав типового ППМ входят СВЧ-устройства: передатчик, приёмник и фазовращатель, а также микропроцессор для обработки сигналов и управления. Кроме того, ППМ содержит батарею накопительных конденсаторов для импульсного электропитания СВЧ-передатчика (длительность импульсов питания от сотен наносекунд до единиц миллисекунд при скажности от сотен до 4–5).

Крайне важно обеспечивать микроминиатюризацию ППМ, поскольку при средней длине модуля, равной 150–250 мм, ширина и высота ППМ, совместно с элементами жидкостного и воздушного охлаждения, не может быть больше половины длины волны излучения АФАР:

$$\Delta L \leq \lambda/2,$$

где  $\Delta L$  – условная сторона квадрата, образованного шириной и высотой ППМ;  $\lambda$  – длины волны излучения АФАР.

В таблице приведены типовые значения  $\Delta L$  с учётом реальных размеров элементов охлаждения для различных диапазонов частот АФАР.

Габаритные размеры выпускаемых сегодня СВЧ-микросхем позволяют располагать их полосой шириной 9–11 мм. Поэтому с учётом того, что для защиты ППМ от СВЧ-излучения необходимо использовать металлический корпус с толщиной стенок не менее 0,5 мм (чтобы обеспечить теплоотвод), следует ожидать достижение размера  $\Delta L = 10–12$  мм для СВЧ-блока ППМ.

Одной из проблем дальнейшей миниатюризации ППМ, которая обеспечивает снижение веса и стоимости АФАР, а также улучшение показателей электромагнитной совместимости (ЭМС), является снижение габаритных размеров модулей электропитания и накопительных конденсаторов. В частности, крайне сложно уменьшить размеры трансформаторов и дросселей модулей электропитания, работающих на частотах в 10 000 раз меньших, чем частотный диапазон СВЧ-компонентов ППМ. Например, оптимальные для использования в АФАР DC/DC- и AC/DC-модули производства AEPS GROUP имеют предельные размеры  $\Delta L$ , превышающие

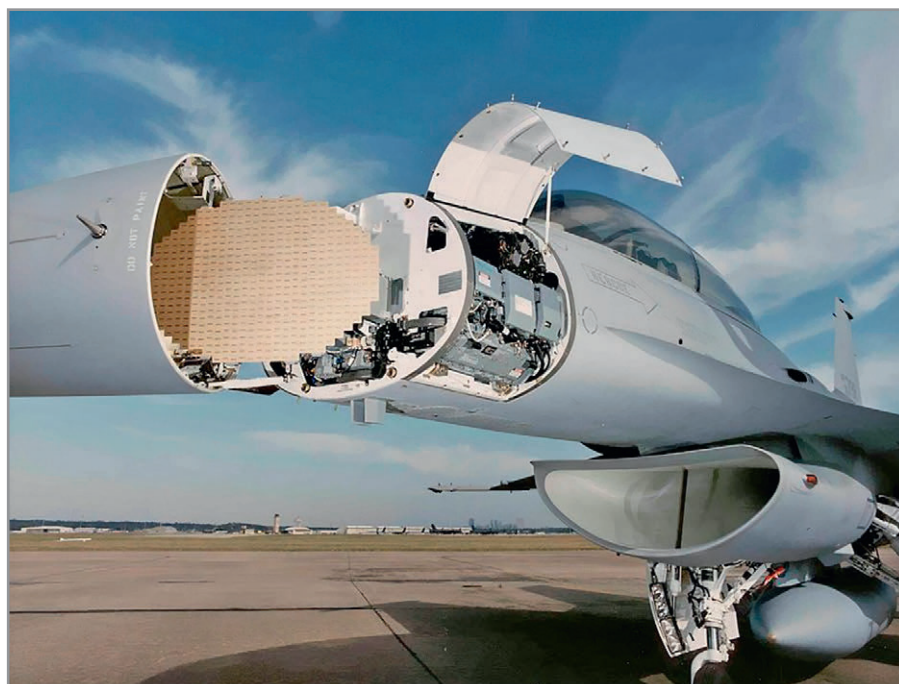
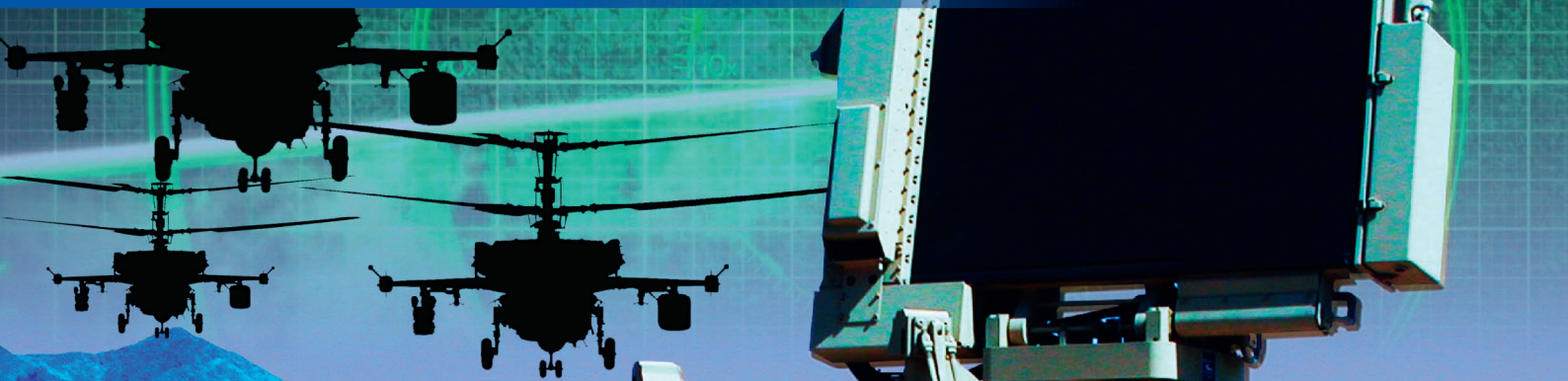


Рис. 1. АФАР в составе истребителя

Типовые значения  $\Delta L$  для различных диапазонов частот АФАР

| Частотный диапазон | Частота излучения, ГГц | Длина волны, мм | $\Delta L$ , мм |
|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| S                  | 2–4                    | 150–75          | 70–33           |
| C                  | 4–8                    | 75–37,5         | 33–15           |
| X                  | 8–12                   | 37,5–25         | 15–9            |

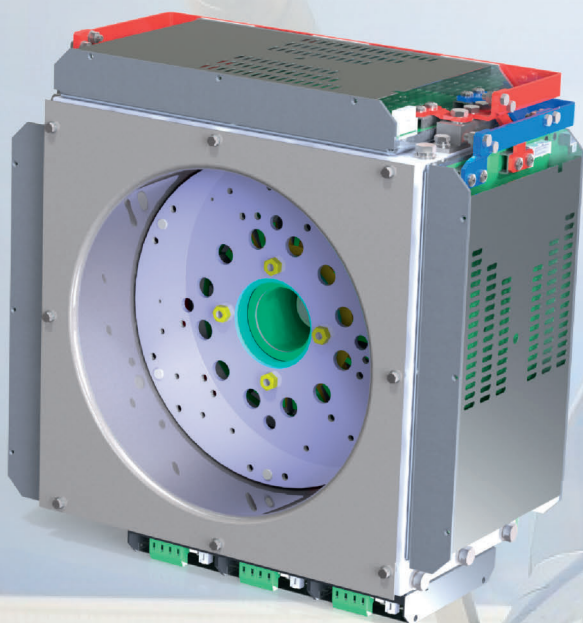




## Мы делаем уникальные системы электропитания Мы – AEPS GROUP

Основное направление нашей деятельности – производство высоконадежных мощных AC/DC и DC/DC преобразователей и блоков электропитания на их основе для организации электропитания на транспорте, в авиации, радиолокации, на железных дорогах и т.д.

Нашу продукцию выбрали ведущие предприятия, мы работаем в тесном сотрудничестве со своими клиентами и готовы к реализации самых сложных и нестандартных проектов.

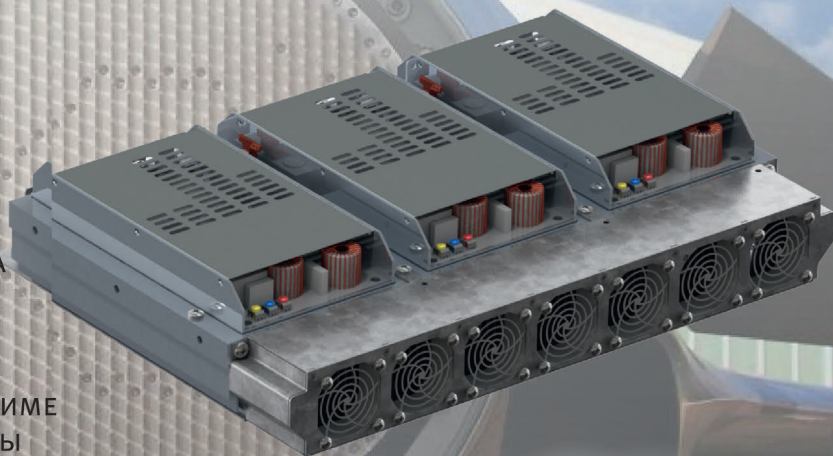


### Блок электропитания 9 000 Вт

- Для работы с дизельными генераторами
- Входное трехфазное напряжение 304...456VAC
- Выходная мощность до 9000 Вт
- Выходной ток до 316А
- Функция параллельной работы
- Все виды защит
- Дистанционное включение/выключение и подстройка выходного напряжения
- Алюминиевый радиатор со встроенными вентиляторами охлаждения
- Встроенные разделительные выходные диоды

### Блок электропитания 3 600 Вт

- Входное напряжение 100...242 В
- Выходная мощность до 3600 Вт
- Выходной ток до 133,2 А
- Функция параллельной работы
- Корректор коэффициента мощности
- Защита от перегрузки по току, КЗ и перенапряжения по выходу, тепловая защита
- Дистанционное выключение и подстройка выходного напряжения внешним управляющим напряжением
- Возможность работы на АКБ в буферном режиме
- Встроенные разделительные выходные диоды





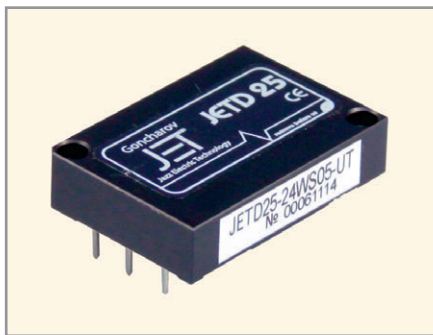


Рис. 2. DC/DC-модуль JETD25 (прототип модуля для ППМ с  $\Delta L = 21,5$  мм, габариты  $23 \times 33 \times 10$  мм)

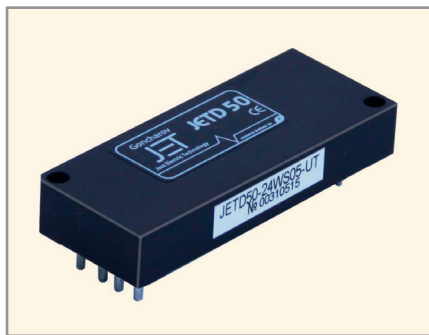


Рис. 3. DC/DC-модуль JETD50 (прототип модуля для ППМ с  $\Delta L = 21,5$  мм, габариты  $23 \times 51 \times 10$  мм)



Рис. 4. AC/DC-модуль JETA60 (прототип модуля электропитания с ККМ для ППМ АФАР с  $\Delta L = 47$  мм, габариты  $101 \times 51 \times 18$  мм)



Рис. 5. AC/DC-DC-модуль TESAV50 с двумя вариантами входного напряжения без ККМ и с ККМ (габариты  $85 \times 53 \times 13$  мм)



Рис. 6. AC/DC-модуль с ККМ JETA2000 (габариты  $250 \times 140 \times 38$  мм)

21,5 и 47 мм (см. рис. 2–5). Это означает, что построить полностью децентрализованную МСРЭП (что крайне желательно с точки зрения обеспечения надёжности АФАР) для диапазонов С и Х на базе модулей AEPS GROUP пока не представляется возможным – для этого требуется проведение дорогостоящих НИОКР. Поэтому сегодня создать децентрализованную МСРЭП АФАР на основе одноканальных ППМ можно только для частот до 4–6 ГГц.

Для АФАР с рабочими частотами более 6 ГГц можно использовать хорошо отработанные технические реше-

ния, которые позволяют преодолеть ограничение на превышение размеров ППМ половины длины волны излучения. Таким решением являются многоканальные (2- или 4-канальные) ППМ, в общем корпусе которых размещены два модуля электропитания, что обеспечивает простой вариант резервирования электропитания.

В этом случае можно построить децентрализованную МСРЭП с коэффициентом надёжности, близким к единице. Однако платой за это является усложнение ППМ и ухудшение показателей ЭМС.

Выпуск более сложных и дорогих многоканальных модулей вместо однотипных и простых ППМ в больших количествах нерентабелен. Кроме того, необходимость применения для таких систем централизованных AC/DC-источников электропитания, например, на основе преобразователя с корректором коэффициента мощности (ККМ) JETA2000 (см. рис. 6), приводит к созданию двухступенчатой структуры преобразования энергии, что снижает общий КПД.

Примером того, насколько важна миниатюризация МСРЭП с количеством ППМ более 2000, является 3D АФАР для истребителя F22 Raptor. По данным, опубликованным в американских источниках, объём бортовых РЛС этого самолёта составляет  $565 \text{ дм}^3$ , а вес – 553 кг. При мощности МСРЭП АФАР, равной 16 530 Вт, объём МСРЭП составит 40% от общего объёма АФАР, а вес – 45%. Здесь необходимо заметить, что в данном примере используется практически централизованная МСРЭП. Она обладает критически низким уровнем надёжности и занимает большую долю в весе системы электропитания с фидерами, питающими ППМ. Однако её вес ниже, чем у децентрализованной системы.

Рассмотрим примеры реализации нескольких типовых МСРЭП АФАР воздушного и наземного базирования, а также сравним основные энергетические показатели децентрализованной МСРЭП для ППМ, созданных с использованием СВЧ-компонентов на базе GaAs- и GAN-технологии.

Вариант 1 (см. рис. 7) построен на основе GaAs СВЧ-транзисторов с типичным для них напряжением питания 10 В и КПД = 0,2 и содержит конденсаторный накопитель энергии объёмом 3,14 условных единиц (при сравнении вариантов 1 и 2 учитываются различия в напряжении питания и КПД).

Вариант 2 (см. рис. 8) выполнен на основе СВЧ-транзисторов с типичным для GAN-технологии напряжением питания 28 В и КПД = 0,5. Содержит конденсаторный накопитель энергии объёмом 1 условная единица.

Общими для вариантов являются следующие параметры:

- излучаемая импульсная мощность ППМ – 10 Вт;
- максимальная частота – 6 ГГц;
- КПД модуля электропитания – 0,88;
- количество ППМ – 2000;
- скважность импульсов – 5.



Суммарный объем МСРЭП на основе GaAs-транзисторов составляет 10 280 условных единиц – примерно 56 дм<sup>3</sup>, а совместно с централизованным резервированным преобразователем, состоящим из 18 параллельно включённых модулей типа JETA2000 с ККМ (каждый имеет объем 1200 условных единиц),  $21600 + 10280 = 31880$  условных единиц – примерно 174 дм<sup>3</sup>.

Суммарный объем МСРЭП на основе GaN-транзисторов составляет 4000 условных единиц – примерно 21,7 дм<sup>3</sup>, а совместно с централизованным резервированным преобразователем, состоящим из 9 параллельно включённых модулей типа JETA2000 с PFC,  $10800 + 4000 = 14800$  условных единиц – примерно 80,4 дм<sup>3</sup>.

Результаты расчёта по варианту 1 (GaAs-транзисторы) и варианту 2 (GaN-транзисторы) следующие:

- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaAs) ППИМ для всей АФАР составила 20 000 Вт;
- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaN) ППИМ для всей АФАР составила 8000 Вт;
- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaAs) для всей АФАР с имеющимися ККМ составила 25 244 Вт;
- средняя мощность потребления СВЧ-компонентов (на базе GaN) для всей АФАР с имеющимися ККМ составила 10 111 Вт;
- тепловая мощность, рассеиваемая в АФАР, без учёта антенны для GaAs-транзисторов, составила 86 885 Вт;
- тепловая мощность, рассеиваемая в АФАР, без учёта антенны для GaN-транзисторов составила 10 251 Вт.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественная промышленность (русская и белорусская) уже сегодня

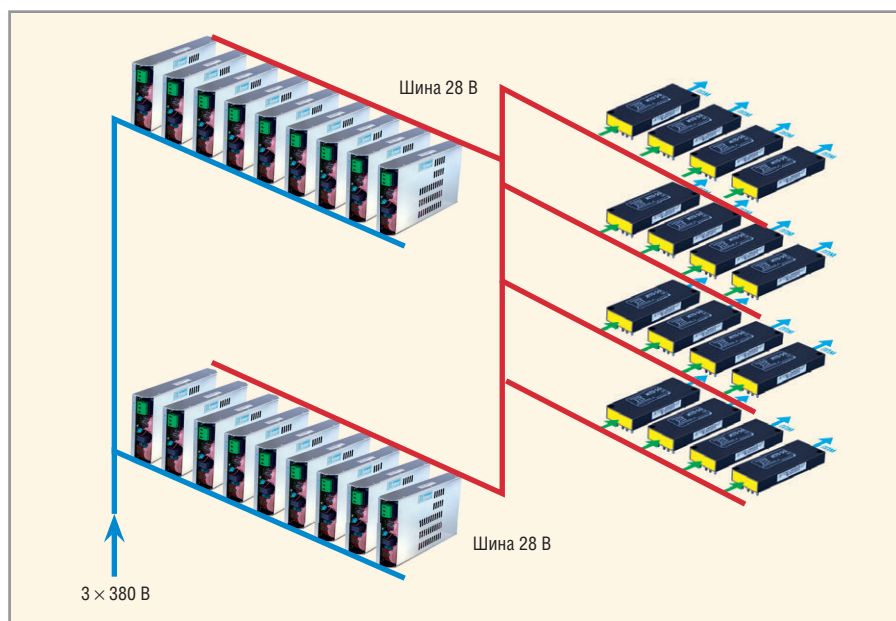


Рис. 7. Вариант 1 построения МСРЭП для АФАР

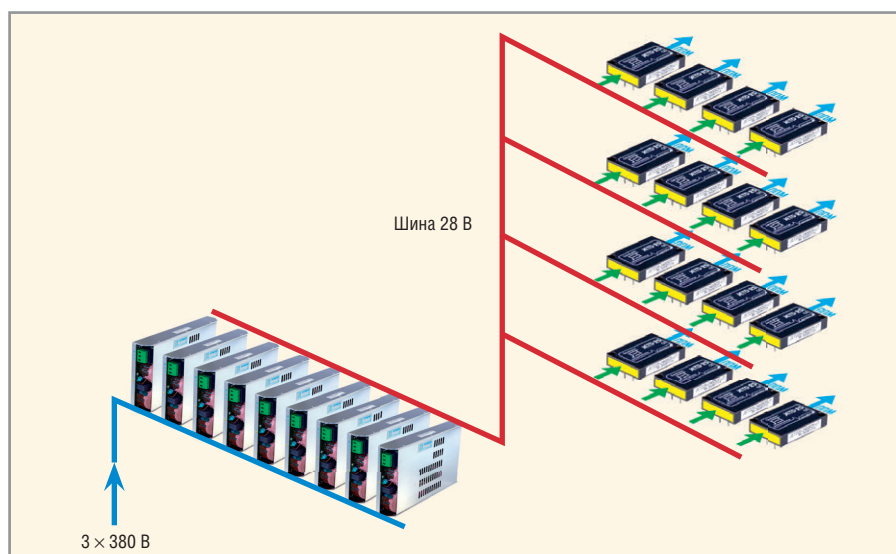


Рис. 8. Вариант 2 построения МСРЭП для АФАР

на, возможно уже в 2016–2017 гг., могла бы производить на основе GaN-компонентов ППИМ, работающие в S-, C- и, частично, в X-диапазонах, с суммарной выходной СВЧ-мощностью

20 000 Вт. В качестве прототипов модулей электропитания могут быть использованы серийно выпускаемые компанией AEPS GROUP модули JETD25, JETD50 и JETA2000.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Победители Startup Village получили сертификаты на форум «Открытые инновации»

3 июня в рамках Startup Village в инновационном центре «Сколково» состоялось награждение победителей конкурса Startup Village. Три победителя конкурса питч-презентаций всероссийского стартап-тура Startup Village – представители компаний Tektum, Real Target и Гравитон получили возможность выступить в качестве спикеров

на Форуме «Открытые инновации», который в этом году будет проходить в обновлённом формате. Остальным 28 победителям были вручены сертификаты на доступ ко всем пяти дням Форума и Шоу технологий.

На площадке конференции Startup Village также была представлена новая концепция форума «Открытые инновации», темой которого станет «Человек на стыке трендов технологической революции». Взятая за основу стилистика современного международного

конгресса, предполагающая неформальное общение и диалог «без галстуков», нашла своё отражение в формате интерактивной дискуссии о том, что инновационные технологии принесут в сферы производительности, образования, здоровья, развлечений и в нашу среду обитания.

Новая концепция Форума и Шоу технологий предполагает, что участником мероприятия может стать каждый.

Forinnovations.ru

# Российские DC/DC-преобразователи от НПП «Арбелос» для ответственных применений

Михаил Никитин (Москва)

В статье проводится исследование электрических параметров герметичного DC/DC-преобразователя, выполненного по толстоплёночной технологии российской компанией НПП «Арбелос», с целью подтверждения заявленных основных рабочих характеристик.

Прошедший 2014 г., бесспорно, войдёт в историю современной России не только как год радости, единения, спортивных успехов, но и как год потрясений, разочарований и, конечно, «дикого» импортозамещения. Отдельным результатам этого нововведения и будет посвящена данная статья, а точнее – новым продуктам российского производителя, впервые представившего свои герметичные DC/DC-преобразователи серии АЭ27-30 на выставке «Силовая Электроника 2014».

И прежде чем углубиться в описание вышеуказанных изделий, хотелось бы немного остановиться на их разработчике – компании ООО НПП «Арбелос», которая была зарегистрирована совсем недавно, но при этом уже готова предложить российским компаниям свою продукцию.

Образование НПП «Арбелос» явилось вполне логичным шагом со стороны группы разработчиков силовой электроники из Дубны и специалистов в области ВЧ/СВЧ-аппаратуры из Зеленограда, поскольку за годы профессиональной деятельности ими был сформирован научно-технический задел для создания российских аналогов импортной продукции. В сложившихся условиях, когда многие отечественные предприятия массово отказываются от применения изделий, произведённых в государствах, поддерживавших

санкции против РФ, для молодой компании открылись большие возможности, которыми непременно стоило воспользоваться. Например, в отличие от уже давно присутствующих на рынке крупных холдингов, производящих DC/DC-преобразователи, небольшие компании могут быстро подстраиваться под текущие потребности российских клиентов.

Однако бодрый старт не является показателем надёжности, ведь многие молодые компании часто вводят своих потенциальных клиентов в заблуждение, предлагая «сырой» продукт или даже импортный, но под видом российского. Поэтому попробуем разобраться, что представляют собой DC/DC-преобразователи серии АЭ27-30 (см. табл. 1), проведя исследование электрических параметров и, самое главное, рассмотрев технологию производства на примере конкретного изделия – АЭ27-30-1-2-1.

## Внешний вид

АЭ27-30-1-2-1 (далее изделие) выполнено в никелированном металлическом корпусе, нижняя часть которого представляет собой металlostеклянный спай с десятью жёсткими, вертикально расположенными контактами диаметром  $1,02 \pm 0,13$  мм и длиной  $6,34 \pm 0,26$  мм [1]. Изолированные от корпуса контакты имеют гальвани-

ческое покрытие Au, а приваренные к корпусу – Ni. Изделие имеет лазерную маркировку, которая содержит информацию о дате производства, полное наименование, логотип производителя и штрих-код серийного номера, по которому, после официального запроса, можно получить полную информацию о результатах испытаний конкретного DC/DC-преобразователя (см. рис. 1). Габаритные размеры составляют не более  $54 \times 29 \times 10,2$  мм для рассматриваемого изделия при весе не более 52 г. Остальные изделия серии АЭ27-30 могут иметь отличные от АЭ27-30-1-2-1 габариты и вес (см. рис. 2 и табл. 2).

При герметизации корпусов DC/DC-преобразователей серии АЭ27-30 используется высокоточная лазерная сварка [1], обеспечивающая хорошие показатели надёжности. По завершении операций лазерной сварки все изделия проходят 100-процентный выходной контроль на наличие течей, который состоит из двух стадий (наискателе больших течей и гелиевом наискателе малых течей), что существенно снижает вероятность брака.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для всей серии АЭ27-30 номинальное входное напряжение составляет 27 В. При этом заявленный диапазон достаточно широк – от 16 до 40 В. В ходе проверки испытываемого изделия рабочий диапазон входного напряжения при нагрузке 28 Вт составил 14–42 В. Верхнюю границу существенно увеличивать в ходе исследования не представлялось возможным, поскольку у изделия отсутствует защита по пре-

Таблица 1. Основные параметры DC/DC-преобразователей серии АЭ27-30

| Наименование изделия* | Номинальное выходное напряжение, В | Выходной ток (макс.), А | КПД (мин.), % |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|
| АЭ27-30-1-1-1(2)      | 3,3                                | 6,06                    | 71            |
| АЭ27-30-1-2-1(2)      | 5                                  | 5                       | 73            |
| АЭ27-30-1-3-1(2)      | 12                                 | 2,5                     | 77            |
| АЭ27-30-1-4-1(2)      | 15                                 | 2                       | 78            |
| АЭ27-30-2-5-1(2)      | $\pm 5$                            | $2,5 / -2,5$            | 73            |
| АЭ27-30-2-6-1(2)      | $\pm 12$                           | $1,25 / -1,25$          | 76            |
| АЭ27-30-2-7-1(2)      | $\pm 15$                           | $1 / -1$                | 77            |
| АЭ27-30-3-8-1(2)      | $5 \pm 12$                         | $4 / 0,416 / -0,416$    | 70            |
| АЭ27-30-3-9-1(2)      | $5 \pm 15$                         | $4 / 0,333 / -0,333$    | 71            |

\* Последняя цифра обозначает наличие (-2) или отсутствие (-1) фланцев.



Рис. 1. Общий вид маркировки изделий серии АЭ27-30



вышению величины входного напряжения, что подразумевает применение ЕМР-фильтра при подключении к нестабильной линии питания. В свою очередь, нижняя граница диапазона для испытаний была расширена с учётом того, что максимальный заявленный входной ток составляет 1,6 А (выходное напряжение при всех измерениях равнялось 4,95...5,05 В). В нашем случае испытание проводилось при входном токе 2 А, что на 20% выше заявленного. В ходе тестирования изделие обеспечило требуемые технические характеристики и сохранило работоспособность.

Включение изделия может производиться непосредственно при подаче питающего напряжения или с задержкой, для чего необходимо использовать функцию дистанционного включения, схемотехнически реализованную по схеме «открытый коллектор». При отсутствии внешних конденсаторов наибольший интерес в изучении возможностей нового продукта представляет первый вариант. При тестовом включении на импульсную нагрузку 22 Вт на вход изделия было подано номинальное напряжение 27 В.

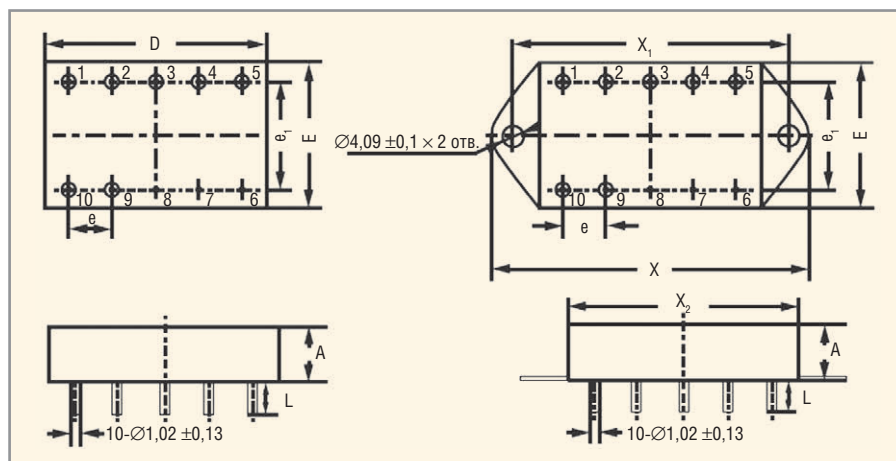


Рис. 2. Конструктивные особенности изделий серии А327-30

Таблица 2. Установочные размеры DC/DC-преобразователей серии А327-30

| Версия изделия | Установочные размеры изделий, мм |        |                |       |        |        |                |             |
|----------------|----------------------------------|--------|----------------|-------|--------|--------|----------------|-------------|
|                | D                                | E      | e <sub>1</sub> | e     | X      | A      | X <sub>2</sub> | L           |
| A327-30-1-Y-Z  | <53,98                           | <28,58 | 20,32          | 10,16 | <73,91 | <10,16 | <53,98         | 6,34 ± 0,26 |
| A327-30-2-Y-Z  | <53,98                           | <28,58 | 20,32          |       | <73,91 | <10,16 | <53,98         |             |
| A327-30-3-Y-Z  | <49,53                           | <34,29 | 25,40          |       | <69,09 | <10,29 | <49,58         |             |

В результате было установлено, что порог включения составляет около 10 В (см. рис. 3а). Аналогичные данные были подтверждены на двух дополнительных образцах. Время включения не превы-

сило 0,45 мс (см. рис. 3б). При снижении нагрузки динамические характеристики изделия улучшились: при выходной мощности 5 Вт время включения составило 0,38 мс (см. рис. 3в).



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

## РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

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



POWERED BY ProSOFT

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИЛЕР НПП «АРБЕЛОС»**

Активный компонент вашего бизнеса

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

Реклама

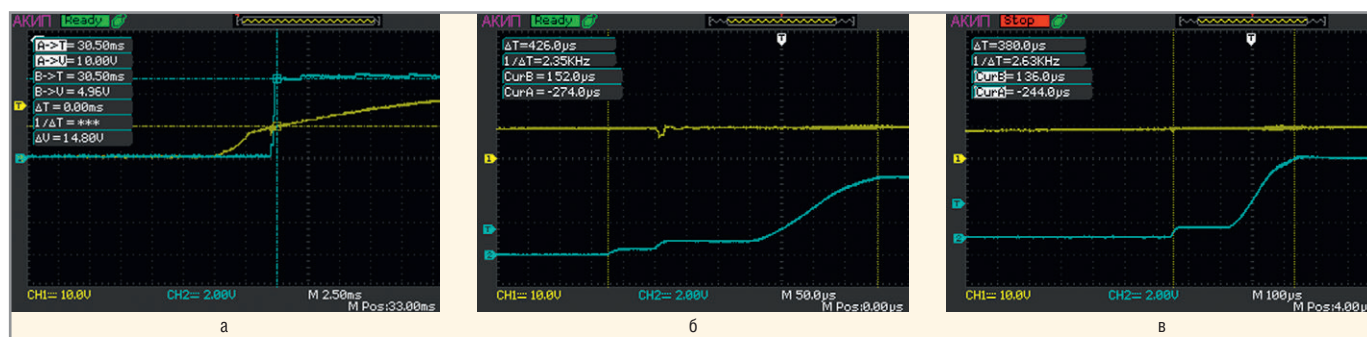


Рис. 3. Включение изделия при различных нагрузках: а – порог включения изделия при подаче входного напряжения на нагрузку 22 Вт; б – включение изделия подачей входного напряжения на нагрузку 22 Вт; в – включение изделия подачей входного напряжения на нагрузку 5 Вт

На протяжении всего эксперимента пульсации входного тока при различных нагрузках не превышали 50 мА.

Изделие имеет встроенную защиту от короткого замыкания на выходе с автоматическим восстановлением. Время восстановления не превышает 5 мс. При этом изделие не имеет защиты от перегрева и перегрузки, что является существенным недостатком и требует применения дополнительных схемных решений.

При мгновенном изменении нагрузки на изделие, питающееся от источника  $27 \text{ В} \pm 5\%$ , в большинстве случаев наблюдается просадка выходного напряжения (в ходе тестирования внешние конденсаторы не применялись, а температура корпуса изделия составляла не более  $27^\circ\text{C}$ ). Так, при мгновенном изменении нагрузки с 1 А до 4,5 А просадка напряжения составила 800 мВ на время 100 мкс (см. рис. 4). В свою очередь, при мгновенном подключении нагрузки 4,5 А на изделие, работающее в режиме «холодного хода», наблюдался провал до 1,28 В длительностью 288 мкс (см. рис. 5), а при подключении нагрузки 1 А снижение составило 640 мВ на время 164 мкс (см. рис. 6). В случае периодического плавного изменения нагрузки на изделие с 1 А до 4,5 А наблюдались колебания выходного напряжения с амплитудой 1,36 В (см. рис. 7). Всё указанное свидетельствует о необходимости обязательного использования внешних конденсаторов по выходу.

Частота преобразования изделия лежит в диапазоне от 400 до 600 кГц (скважность 40...60%) с возможностью внешней синхронизации (амплитуда от 0,8 до 4,5 В), использование которой поможет в случае параллельной работы нескольких DC/DC-преобразователей и упростит создание EMI-фильтров.

У рассматриваемого изделия сопротивление изоляции вход-выход состав-

ляет не менее 100 МОм (при DC 500 В), а напряжение пробоя (вход-выход, вход-корпус, выход-корпус) не менее DC 500 В [1], что было подтверждено в ходе тестирования.

### Условия эксплуатации и конструктивные особенности

DC/DC-преобразователи серии АЭ27-30 сохраняют работоспособность без снижения выходной мощности в диапазоне температур от  $-60$  до  $+125^\circ\text{C}$  [1]. Однако при нагреве наблюдается снижение КПД. Так, при температуре корпуса изделия не более  $27^\circ\text{C}$ , входном напряжении  $27 \text{ В} \pm 5\%$  и нагрузке 22 Вт его средняя величина составила 76%, при  $92^\circ\text{C}$  – 74%. Минимальное значение КПД для рассматриваемого изделия составляет 73% при пониженном входном напряжении. С целью снижения негативного воздействия повышенной температуры (при нагреве корпуса более  $85^\circ\text{C}$ ) рекомендуется использовать медный радиатор площадью не менее  $80 \text{ см}^2$ , или обеспечить отвод тепла иными способами.

Для компенсации потерь на кабеле нагрузки в изделии реализована схема автоматической подстройки выходного напряжения. Тем не менее, не рекомендуется устанавливать DC/DC-преобразователь на значительном расстоянии от конечной нагрузки.

Во время эксплуатации изделия, из-за использования металлостеклянного спая в конструкции корпуса, следует большое внимание уделять вопросам вибрационного воздействия. Для минимизации последствий механического воздействия изделие должно быть жёстко закреплено на печатной плате, устойчивой к деформациям типа изгиб и кручение. Если корпус изделия не имеет фланцев, то его обязательно следует фиксировать клеем, например, ВК-9 с добавлением алюминиевой пудры, поскольку даже незна-

чительные колебания контактов могут привести к повреждению стекляннo-го изолятора и, как следствие, разгерметизации.

При монтаже допускается нагрев выводных контактов до температуры не более  $300^\circ\text{C}$  длительностью до 10 с. Это позволяет использовать не только свинцовые припой, но и среднетемпературные бессвинцовые, например, А30С5 по ГОСТ Р 55492-2013, который имеет лучшие показатели по устойчивости к термоциклированию в сравнении с Sn/Pb-группой [2].

Изделие выполнено в стальном корпусе из тонкой стали 10 (по ГОСТ 1050-2013) холодного проката, герметизированном крышкой из железоникелевого сплава с содержанием никеля 42% [1]. Корпус имеет гальваническое никелированное покрытие, повышающее антикоррозионные свойства, но при использовании в условиях соляного тумана изделие рекомендуется покрывать защитным лаком, например, проверенным временем УР-231, или HumiSeal 1A33 [3].

### История разработки и производство АЭ27-30

Разработка серии АЭ27-30 началась в первой половине 2013 г. как личная инициатива отдельных разработчиков, объединившихся через год в НПП «Арбелос». Сама же идея создания гибридных DC/DC-преобразователей зародилась ещё раньше.

Как ни странно, в России много производителей герметизированных источников питания для применения в ответственных приложениях, но крайне мало тех, кто разрабатывает и производит герметичные источники, несмотря на растущий на них спрос со стороны производителей космической и авиационной аппаратуры. Именно по этой причине были разработаны одноканальные DC/DC-преобразователи



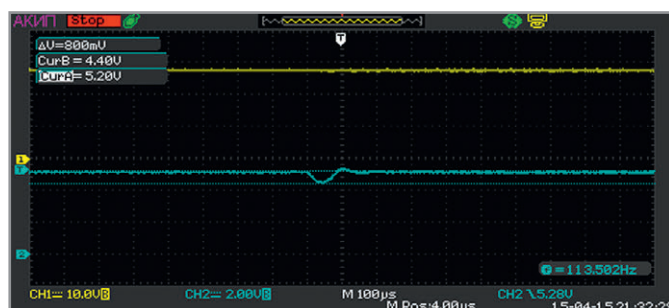


Рис. 4. Мгновенное изменение нагрузки с 1 до 4,5 А

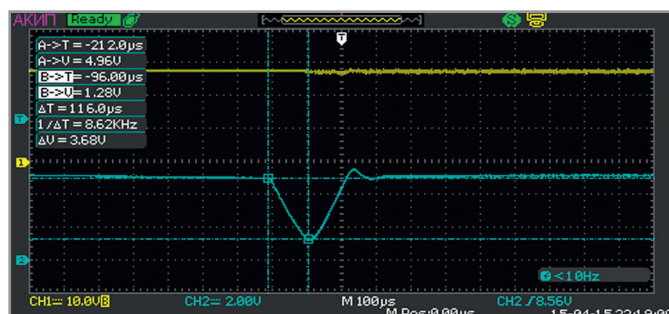


Рис. 5. Мгновенное изменение нагрузки с 0 до 4,5 А

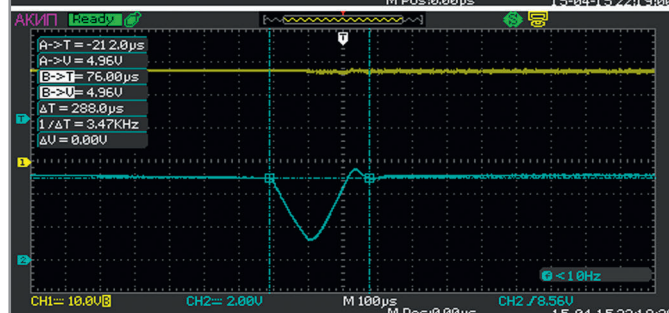


Рис. 5. Мгновенное изменение нагрузки с 0 до 4,5 А

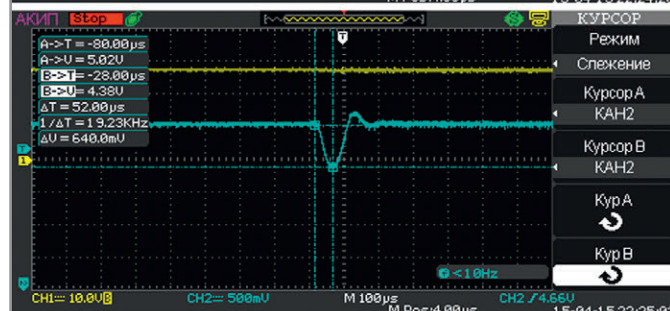
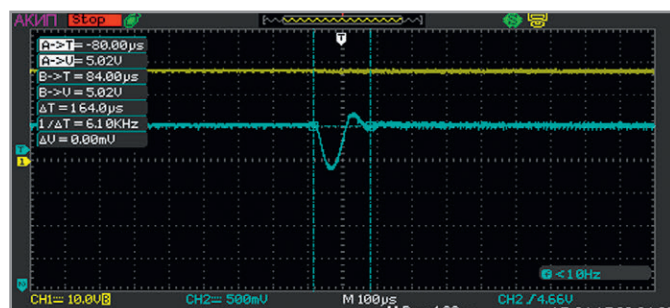


Рис. 6. Мгновенное изменение нагрузки с 0 до 1 А

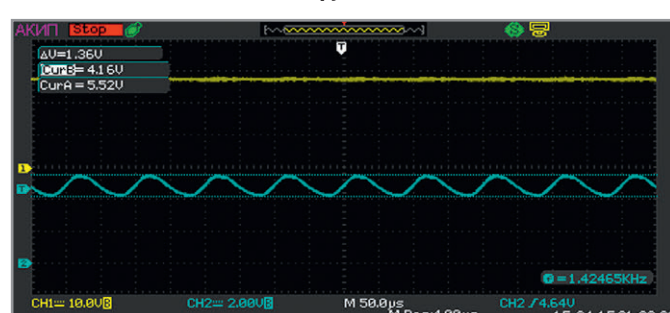


Рис. 7. Плавное периодическое изменение нагрузки с 1 до 4,5 А

с выходной мощностью 30 Вт. Однако для того чтобы изготовить опытные образцы, необходимо достаточно сложное оборудование и высококвалифицированный персонал. И то и другое в начале 2014 г. в России было очень сложно найти. Российские компании, не специализирующиеся на толстоплёночной технологии, предлагали свои услуги по изготовлению опытных образцов. Отечественные же производители, имеющие опыт в этой сфере, были загружены заказами на год вперёд и более. Тем не менее, решение было найдено. На выставке Semicon Russia 2014 были достигнуты договорённости о выпуске опытной партии АЭ27-30-1-2-1 компанией из Юго-Восточной Азии, оказывающей услуги контрактного производства. И уже в ноябре 2014 г. были получены первые изделия, качество изготовления которых соответствовало уровню ведущих мировых производителей, что было подтверждено испытаниями в России.

В начале 2015 г. на базе НПП «Арбелос» при участии российских инвесторов была создана испытательная лаборатория, специализирующая

ся на тестировании герметичных DC/DC-преобразователей. Это позволило обеспечить серийную поставку российским заказчикам изделий серии АЭ27-30 в категории качества «ОТК». В настоящий момент при производстве используются импортные электронные компоненты, которые стоят значительно дешевле российских и имеют небольшие сроки поставки, что важно при заказе небольших партий. Однако в планах компании на 2015 г. обозначена их частичная замена отечественными. В первую очередь замена коснётся резисторов, конденсаторов и моточных изделий. А к концу 2016 г. НПП «Арбелос» планирует запуск на собственном производстве в Зеленограде разрабатываемой сейчас новой серии DC/DC-преобразователей с выходной мощностью 30 Вт, в которой доля отечественной элементной базы составит не менее 85%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе небольшого исследования герметичного DC/DC-преобразователя серии АЭ27-30 от компании НПП «Арбелос» были полностью подтверж-

дены его основные характеристики, указанные в техническом описании. Никаких отклонений в ходе работы выявлено не было. Подводя итоги, можно утверждать, что специалистами НПП «Арбелос» был разработан хороший продукт, но при этом не обладающий какими-то выдающимися показателями. Тем не менее, сам факт появления герметичного DC/DC-преобразователя российской разработки является знаковым. А далекие идущие планы коллектива НПП «Арбелос» заслуживают повышенного внимания к этой молодой, но стремительно развивающейся компании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое описание серии АЭ27-30 НПП «Арбелос».
2. Исламгазина Ляля. Особенности сборки силовых модулей в условиях перехода к бессвинцовым технологиям. Компоненты и технологии. 2006. № 9.
3. Стахуров Алексей. Старый конь борозды не портит? Соперник ли UP-231 современным влагозащитным материалам? Технологии в электронной промышленности. 2006. № 3.

# Перспективы создания ВОИИС для определения параметров движения крупногабаритных стендов

Татьяна Мурашкина, Елена Бадеева, Кирилл Серебряков, Александр Удалов, Анна Федотова (г. Пенза)

При финансовой поддержке в форме гранта Президента РФ ведущей научной школы РФ «Волоконно-оптическое приборостроение» 14.Z57.14.681-НШ.

При финансовой поддержке РФФИ в форме гранта № 15-08-02675.

**В статье рассматривается возможность применения волоконно-оптических измерительных систем, построенных на базе унифицированных волоконно-оптических преобразователей линейных и угловых микроперемещений, для определения параметров движения крупногабаритных стендов, используемых на объектах ракетно-космической и авиационной техники.**

Одной из основных проблем при испытаниях и эксплуатации аппаратуры ракетно-космической и авиационной техники (РК и АТ), которая устанавливается на крупногабаритных наземных испытательных стендах, является точное определение положения стендов для того, чтобы обеспечить прецизионные метрологические характеристики этой аппаратуры. Для решения этой задачи стенды оснащаются информационно-измерительными системами (ИИС), в состав которых входят датчики параметров движения: для измерения линейного и углового перемещения, скорости, ускорений (акселерометры).

Так как стенды, имеющие огромную массу, устанавливаются на амортизаторах различной конструкции (см. рис. 1), при воздействии на них низкочастотных механических колебаний изменение скоростей и ускорений мало. Поэтому для широко используемых типов датчиков скорости и уско-

рений эти колебания находятся в так называемой «мёртвой» зоне.

Вторая проблема заключается в том, что испытательные стенды, предназначенные для отработки аппаратуры РК и АТ, представляют собой крупногабаритные комплексы со сложной системой электротехнического оборудования. В состав этих стендовых комплексов входят подземные галереи с сотнями метров кабельных каналов, усилительное и преобразующее оборудование, бункер управления и центральная измерительная лаборатория, содержащая различную аппаратуру аналого-цифровой регистрации и обработки сигналов. Поэтому одним из основных требований, предъявляемым к оборудованию стендов, является применение датчиков в искробезопасном исполнении, стойких к воздействию электромагнитных помех любой интенсивности.

Третья проблема заключается в том, что применение «электрических» датчиков и ИИС не исключает возможность несанкционированного доступа к измерительной информации, а также не обеспечивает искро-, взрыво- и пожаробезопасность.

Одновременное решение этих проблем на основе применения широко распространённых типов «электрических» датчиков практически невозможно.

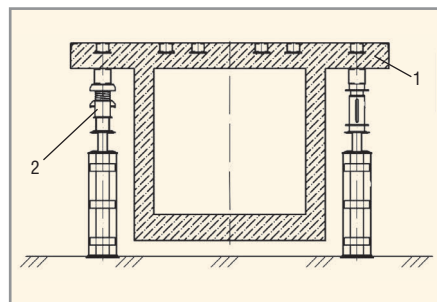
В настоящее время система регистрации и обработки информации динамических стендов оснащается следующим оборудованием: датчика-

ми (тензометрическими, пьезоэлектрическими, термоэлектрическими, потенциометрическими, индукционными и другими), усилительно-согласующей аппаратурой (типа «Девиз», АДИ, ИС-1241 и другими), регистрирующей аппаратурой (типа ЭРА-М, АРБП) и обрабатывающей аппаратурой (типа ЭРА, АВБП, ПК) [1]. Такой аппаратно-программный комплекс успешно эксплуатировался в составе газодинамических стендов и обеспечивал проведение крупномасштабных модельных испытаний элементов РКН и ПУ «Энергия-Буран», «Союз», «Зенит» и прочих. Очевидно, что в настоящее время существующие аппаратно-программные средства автоматизации измерений выработали свой ресурс, морально и физически устарели. Совершенствование существующих электрических ИИС не позволяет решить проблему дальнейшего повышения точности и надёжности измерений при наземных испытаниях ракетно-космической техники, так как их резервы практически исчерпаны.

Одним из путей решения этой проблемы является разработка волоконно-оптической ИИС (ВОИИС), построенной на основе волоконно-оптических датчиков (ВОД), которые могут быть реализованы с использованием дифференциальных волоконно-оптических преобразователей линейных и угловых микроперемещений (ВОПЛИП и ВОПУМП) [2, 3].

В ВОИИС в качестве физической среды используются волоконно-оптические кабели (ВОК), что обеспечивает [4]:

- отсутствие влияния на результат измерения электромагнитных полей;
- отсутствие побочных электромагнитных излучений;
- отсутствие перекрёстных помех соседних каналов;
- отсутствие проблем, связанных с контурами заземления и напряжениями



**Рис. 1. Пример крепления стенда на виброизоляторах:** 1 – стол крупногабаритного стенда (вид поперечный); 2 – виброизолятор



смещения в узлах соединения разнородных проводников;

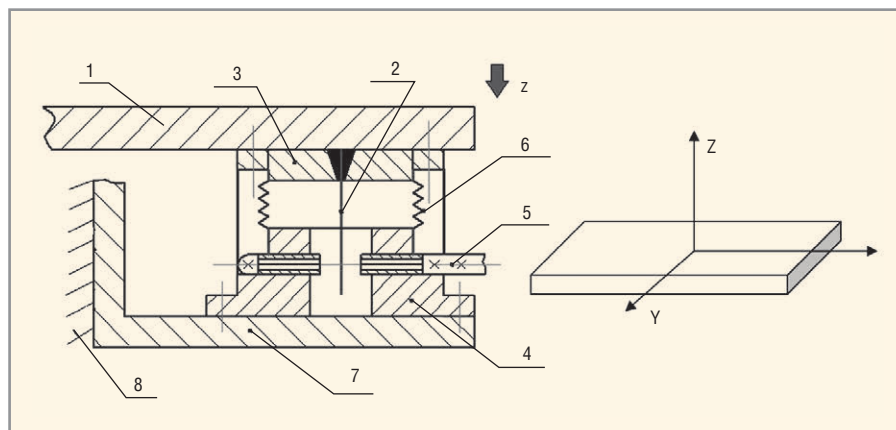
- существенно меньшую электрическую опасность и отсутствие проблемы дугообразования и искрения;
- высокую стойкость к вредным факторам внешней среды;
- более тонкий, лёгкий (в два раза) и прочный, по сравнению с электрическим, многожильный кабель;
- простоту мультиплексирования сигналов;
- высокую скорость передачи данных.

ВОИИС характеризуются чрезвычайно высоким уровнем безопасности эксплуатации. Отсутствие источника электрической мощности в зоне измерений и замена её световой энергией с уровнем не выше 1 мВт гарантирует совершенно безопасную работу в потенциально искро-, пожаро- и взрывоопасных условиях.

Кроме того, ВОД в составе ВОИИС обладают высокой механической прочностью, малыми габаритами, простой конструкцией и, следовательно, высокой надёжностью. Они химически инертны, изготавливаются из диэлектрических материалов, что обеспечивает отсутствие путей прохождения через них электрического тока. Кроме того, они имеют высокую стойкость к повышенным температурам, механическим ударам, вибрациям и другим воздействиям окружающей среды. Они позволяют производить бесконтактные и дистанционные измерения в труднодоступных местах.

ВОД отличаются от «электрических» датчиков тем, что измерительный блок является оптико-механическим устройством, не содержащим радиоэлектронные компоненты, а преобразование измеряемой величины осуществляется на основе оптических явлений. Разделение ВОД на оптико-механический измерительный блок (ОМИБ) и оптоэлектронный блок (ОЭБ), которые могут быть разнесены с помощью ВОК на расстояние от нескольких метров до километра, позволяет достичь ряда преимуществ.

Измерения можно проводить в предельно жёстких условиях окружающей среды: при воздействии высоких температур, радиации и высоком уровне электромагнитных помех, а также в обстановке пожаро- и взрывоопасности. При этом обеспечивается гальваническая развязка. Возможность расположения ОЭБ в непосредственной близости от регистрирующего устройства



**Рис. 2. Конструктивная схема крепления датчика с дифференциальным ВОПУП отражательного типа на стенде:** 1 – элемент крупногабаритного стенда; 2 – металлическая пластина (отражательный элемент); 3 – державка; 4 – основание; 5 – оптические волокна; 6 – угловой сильфон, обеспечивающий герметичность оптической системы; 7 – крепёжная пластина; 8 – неподвижный элемент, на котором закреплён датчик

системы телемеханики или управления позволяет создавать электрические каналы передачи аналоговых и цифровых сигналов, что обеспечивает наиболее полное использование всех функций и возможностей информационно-измерительной системы.

Авторами в рамках НТЦ «Нанотехнологии волоконно-оптических систем» разработан ряд ВОД, в которых в качестве измерительных преобразователей используются унифицированные по схемно-конструктивному исполнению ВОПЛИМП и ВОПУМП с различными типами дифференциальных модулирующих устройств. Дифференциальные ВОПУМП отражательного типа

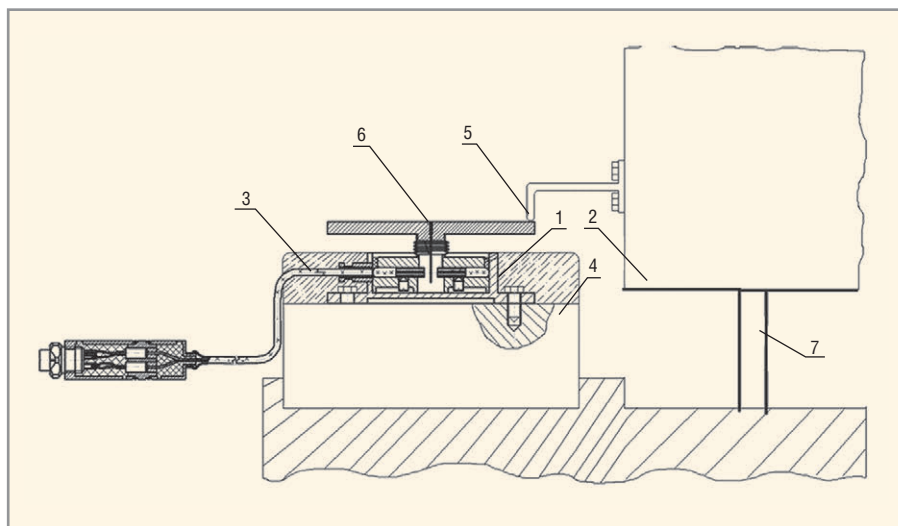
для решения рассматриваемой задачи могут быть достаточно просто адаптированы [5]. На рисунке 2 приведён один из возможных вариантов крепления на стенде ВОД перемещения с дифференциальным ВОПУМП отражательного типа. Датчики подобного типа могут быть установлены в нужном количестве. При этом все они изготовлены по одной технологии и унифицированы по своему схемно-техническому решению.

Если стенд подвергается внешнему воздействию, например, при смещении земной поверхности, то стол стенда смещается относительно своего первоначального положения. В этом

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»**

предлагает к внедрению научные разработки  
волоконно-оптических датчиков давления, вибрации,  
ускорения, перемещения, волоконно-оптической системы измерений  
дискретных значений уровня жидкости

**ФБГОУ ВПО «Пензенский государственный университет»**  
Пенза, ул. Красная, 40, тел./факс (8412) 36-80-89  
e-mail: timurashkina.pgu@mail.ru



**Рис. 3. Вариант установки ВОД перемещения относительно стола стэнда:** 1 – ВОПУМП; 2 – стол стэнда; 3 – ВОК; 4 – основание для крепления ВОД перемещения; 5 – шток; 6 – элемент, воспринимающий давление штока; 7 – виброизолятор

случае элемент стэнда 1, перемещающийся, например, по оси Z, сжимает угловой сильфон, что ведёт к смещению отражательного элемента (ОЭ) – пластины 2, которая жёстко закреплена в верхней части сильфона на угол  $\alpha$  относительно первоначального положения (см. рис. 2).

С двух сторон ОЭ 2 расположены оптические волокна (ОВ) 5 первого и второго измерительных каналов. При этом подводящие ОВ первого измерительного канала расположены соосно с отводящими ОВ второго измерительного канала и, наоборот, подводящие ОВ второго измерительного канала расположены соосно с отводящими ОВ 1 первого измерительного канала [5]. Элементы оптических схем дифференциальных ВОПУМП юстируются так, что в отсутствие измеряемой физической величины световое излучение, выходящее из торцов ПОВ1 и ПОВ2, после отражения

от зеркальных поверхностей ОЭ равномерно распределяется между торцами отводящих оптических волокон первого и второго измерительных каналов.

Ввиду того что скорости и ускорения изменения положения стэндов в пространстве чрезвычайно малы, однократное и двукратное дифференцирование значений сигналов с выхода ВОД перемещения с помощью вычислительных устройств на базе современных микропроцессоров даёт возможность с высокой точностью определить скорость и ускорение стэнда без установки на стэнде соответствующих датчиков. Таким образом, это позволяет снизить себестоимость, габариты и вес ВОИИС в два-три раза.

На рисунке 3 в качестве примера приведён один из возможных вариантов установки ВОД перемещения относительно стола стэнда. При необходимо-

сти можно аналогичным образом установить датчик относительно поверхности виброизолятора.

Реализация предлагаемой ВОИИС позволит повысить надёжность и достоверность результатов измерений на крупногабаритных испытательных стэндах в РК и АТ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лебига В.А., Самсонов А.В., Птушкин О.М., Боткин С.Е. Опыт модернизации информационно-измерительного комплекса испытательного стэнда с применением цифрового регистратора сигналов (НИИХСМ). [www.nppmera.ru/opyt-modernizaczii-informaczionno-izmeritelnogo-kompleksa-ispytatelnogo-stenda-s-primeneniem-cifrovogo-registratora-signalov-niixsm](http://www.nppmera.ru/opyt-modernizaczii-informaczionno-izmeritelnogo-kompleksa-ispytatelnogo-stenda-s-primeneniem-cifrovogo-registratora-signalov-niixsm).
2. Гориш А.В., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Рубцов И.С. Внедрение волоконно-оптических средств измерений на летательных аппаратах – качественный скачок отечественной информационно-измерительной техники. Информационно-измерительная техника. Сб. трудов научно-техн. конф. Под ред. Панова Д.В. Москва. РУДН. 2014. С. 324. С. 166–174.
3. Юрова О.В., Архитов А.В., Назарова И.Т., Мурашкина Т.И. Теоретические исследования волоконно-оптического преобразователя угловых перемещений отражательного типа. Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 10.
4. Пивкин А.Г., Мурашкина Т.И. Волоконно-оптические датчики давления аттенуаторного типа для ракетной техники. Монография. Пенза. Изд-во Пенз. гос. ун-та. 2005. С. 150.
5. Бадеева Е.А., Юрова О.В., Шевелев А.С., Макаров Ю.Н., Гориш А.В. Дифференциальный волоконно-оптический преобразователь угловых перемещений. Современная электроника. 2010. № 8.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Рынок интегральных микросхем растёт

Согласно прогнозу Digitimes Research, объём выпуска ИС в этом году достигнет \$54,8 млрд, что на 12% больше показателя прошлого года, равного \$49 млрд.

Рост будет обусловлен спросом на смартфоны с поддержкой 4G, который позволит компенсировать такие неблагоприятные факторы, как уменьшение спроса на планшеты, ПК и смартфоны.

Компания TSMC выделила на 2015 год рекордно большие капиталовложения в размере \$12 млрд. Ведущий контрактный производитель полупроводниковой продукции в течение года рассчитывает расширить производственные мощности, на которых продукция будет выпускаться по 16-нм технологии FinFET, одновременно возводя линии для более передовой 10-нм технологии.

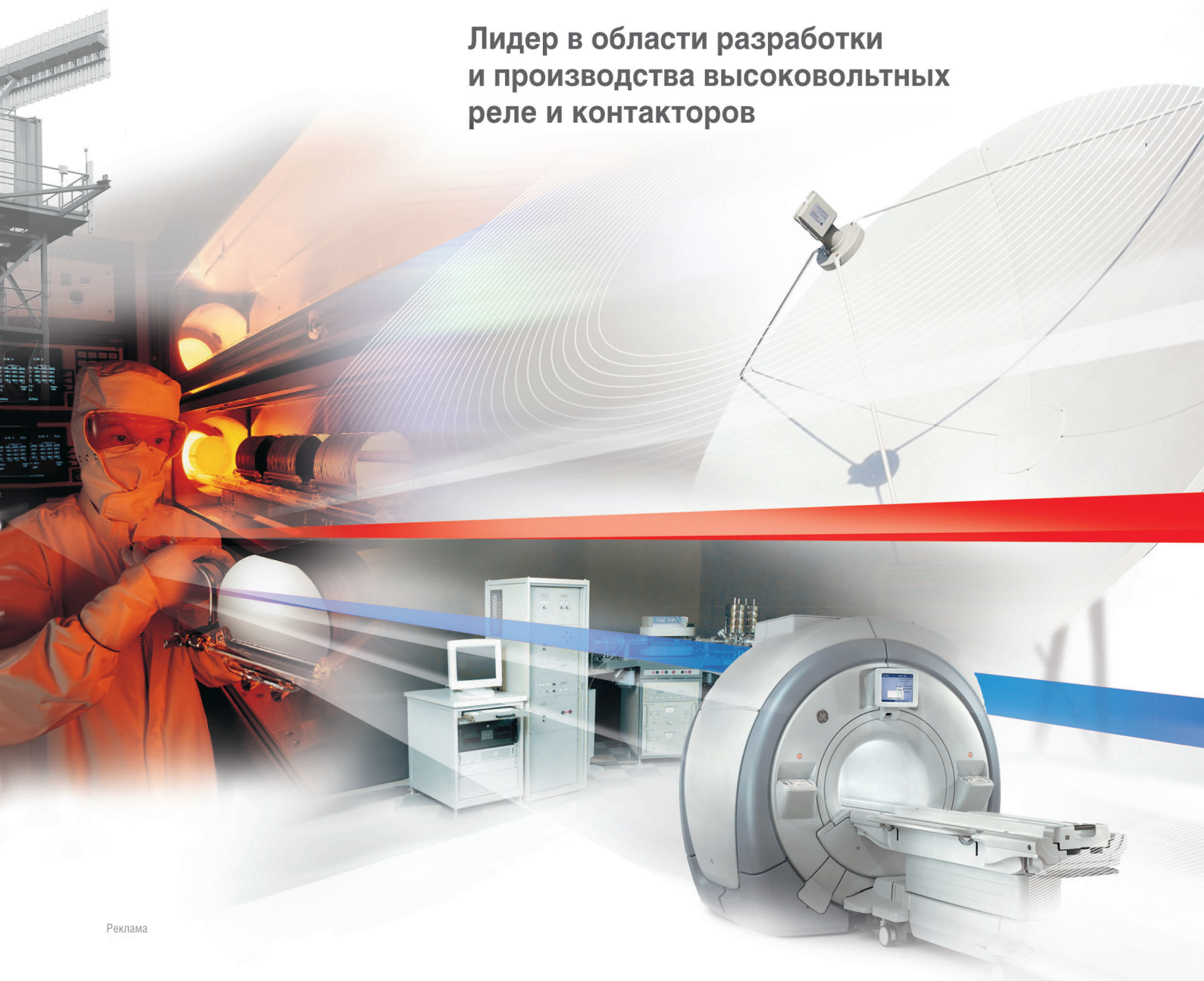
В TSMC ожидают, что продажи 20-нм продукции, в 2014 году составившие \$2,15 млрд, в 2015 году достигнут \$6,34 млрд.

Между тем компания Samsung Electronics сосредотачивается на 14-нм технологии FinFET. По мнению аналитиков, благодаря партнёрству с Globalfoundries, Samsung сможет предложить заказчикам более выгодные условия, чем конкуренты. Считается, что Samsung сможет получить больший процент выхода годной продукции в сегменте рынка, соответствующем нормам 1X nm. Всё это поможет Samsung по итогам года занять 10% мирового рынка ИС.

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



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



Реклама



Вакуумные реле



Газонаполненные реле



Герконовые реле



Контакторы

# Новости мира News of the World Новости мира

## «Микрон» выходит на зарубежные рынки с чипами RFID и NFC

Зеленоградский производитель микроэлектроники представил сверхмалый RFID-чип и первый российский NFC-чип на выставке RFID Journal LIVE! в американском Сан-Диего. Рынок США, находящийся в состоянии борьбы с торговой экспансией китайских производителей, на «Микроне» считают перспективным направлением экспорта.

Сверхмалый чип RFID – это новая версия RFID-чипа для транспортных приложений предыдущего поколения. Ежегодно «Микрон» производит более 400 млн транспортных карт с такими чипами.

На «Микроне» рассказали, что RFID-чип площадью 0,2 мм<sup>2</sup> запустили в производство в этом году и планируют уже этим летом начать контрактные поставки операторам перевозок на общественном транспорте московской агломерации. Чип работает на частоте 13,56 МГц по стандарту ISO 14443A

и отличается высокой надёжностью и низким энергопотреблением.

Первый NFC-чип российского производства, представленный «Микроном» для зарубежных гражданских рынков, передаёт информацию по международному стандарту ISO 14443A и совместим по обмену данными как с отечественными, так и с зарубежными NFC-модулями.

*Zelenograd.ru*

## Открытые торги за радиочастоты в форме аукциона

Министр связи и массовых коммуникаций РФ Николай Никифоров утвердил решение о проведении открытых торгов на частоты для оказания услуг связи в форме аукциона. Это первое в истории современных телекоммуникаций России решение, в рамках которого право получения лицензий на оказание услуг связи будет разыграно на аукционе. Победители получают полосы радиочастот в диапазоне 1800 МГц для применения радиоэлектронных средств (РЭС)

на территории субъектов РФ в сетях связи стандарта GSM, LTE и последующих его модификаций сроком на 10 лет.

Торги будут проводиться в электронном формате. На аукцион будут выставлены различные полосы частот в диапазонах 1710–1785 МГц и 1805–1880 МГц на территории девяти субъектов Российской Федерации: Амурской, Оренбургской и Самарской областей, республик Бурятия, Дагестан, Северная Осетия-Алания, Пермского и Ставропольского края, Карачаево-Черкесской Республики. Стартовая стоимость десяти лотов, разыгрываемых на аукционе, в зависимости от региона и ширины полос частот, составит от 0,5 до 240,4 млн руб. Протокол о результатах торгов должен быть подписан не позднее 30 сентября 2015 г.

Напомним, что решение о проведении торгов на частоты в диапазоне 1800 МГц было принято на заседании Государственной комиссии по радиочастотам 13 октября 2014 г.

*Minsvyaz.ru*

**innodisk**

**ДЕЙСТВУЙ НА ОПЕРЕЖЕНИЕ**

Компактные твердотельные накопители с интерфейсом SATA III, характеризующиеся более высокой скоростью передачи данных

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ INNODISK

**ProSoft®**

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



ТЕСТПРИБОР

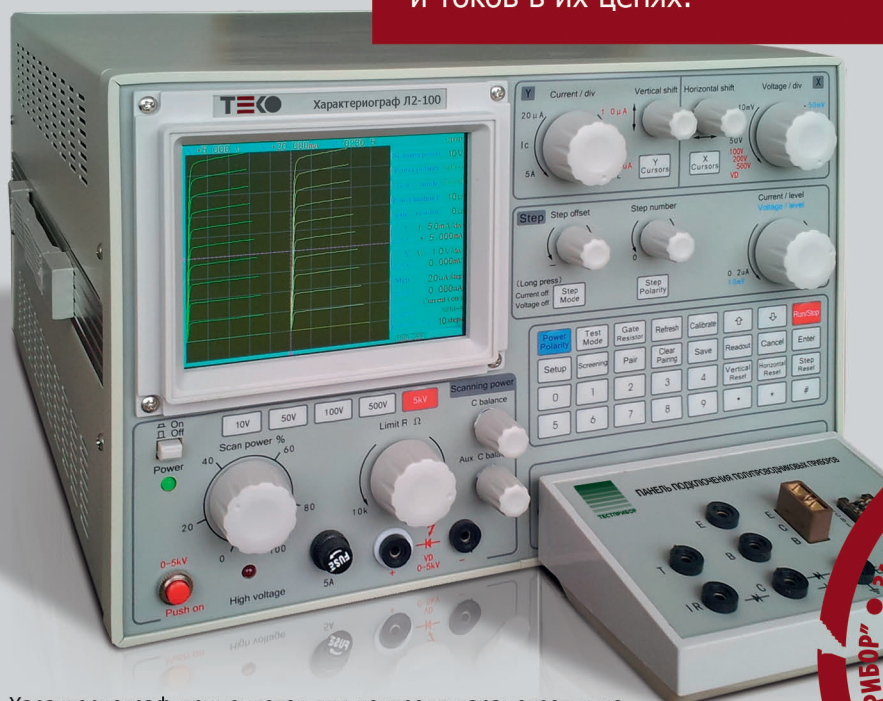
# ЦИФРОВОЙ ЗАПОМИНАЮЩИЙ ХАРАКТЕРИОГРАФ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ Л2-100 ТЕКО

ЗАО «ТЕСТПРИБОР»  
125362, г. Москва, ул. Свободы, д. 31, с.1  
телефон/факс: (495) 657-87-37  
testpribor@test-expert.ru  
www.test-expert.ru

**Характериограф полупроводниковых приборов Л2-100 ТЕКО** предназначен для визуального наблюдения статических вольтамперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов (ППП), измерения напряжений на их электродах и токов в их цепях.

ЗАО «ТЕСТПРИБОР» –  
ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ БРЕНДА  
ТЕКО НА ТЕРРИТОРИИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.

ТЕКО



Характериограф применяется для контроля параметров и исследования ВАХ полупроводниковых диодов, стабилитронов и стабилиторов, биполярных и полевых транзисторов, тиристор-ов, симисторов и др. ППП, интегральных микросхем, опто-электронных и пассивных компонентов.

## ВОЗМОЖНОСТИ Л2-100 ТЕКО

- Максимальный ток – 50А.
- Максимальное напряжение – 5000В.
- Яркий цветной TFT ЖК-дисплей (5,7 дюймов, 640×480 точек).
- Курсорные измерения напряжений и токов с дискретностью отсчета до 1 нА и до 0,2 мВ, соответственно.
- Цифровая фильтрация помех.
- Компенсация сопротивления контактирующих устройств.
- Разбраковка ППП по току, напряжению, коэффициенту передачи тока и крутизне характеристики транзистора.
- Подключение к персональному компьютеру через высокоскоростной USB-порт.
- Вывод изображения ВАХ на экран компьютера в реальном времени.
- Сохранение и воспроизведение ВАХ, результатов измерения и настроек прибора.

- Экспорт ВАХ в файлы табличных форматов CSV и XLS для дальнейшей обработки в Microsoft Excel, Origin и аналогичных редакторах.
- Экспорт ВАХ в файлы графических форматов JPG, PNG, BMP, GIF, TIFF.

## ПРЕИМУЩЕСТВА Л2-100 ТЕКО

- внесен в ГОСРЕЕСТР СИ под номером 60107-15;
- низкая цена;
- гарантия 12 месяцев;
- послегарантийное обслуживание;
- первичная аттестация;
- квалифицированная техническая поддержка.

# Импульсный ИП со стабилизированным выходом и низким уровнем пульсаций

## Часть 3

Алексей Кузьминов (Москва)

В статье описан сетевой импульсный источник питания со стабилизированным выходным напряжением  $\pm 20$  В / 10 А и относительно низким уровнем пульсаций.

### Высокочастотный LC-фильтр и предварительный стабилизатор

Оба выпрямленных напряжения – положительное (+25 нВ) и отрицательное (–25 нВ) – с платы ВЧ-выпрямителя поступают на высокочастотный пассивный LC-фильтр (см. рис. 19). В этом фильтре используются два двухобмоточных дросселя L1 и L2, предназначенных для подавления соответственно дифференциальной и синфазной составляющих пульсаций выпрямленного напряжения.

В дросселе L1 обмотки включены встречно. Следовательно, постоянные составляющие двух магнитных потоков, направленных навстречу друг к другу, взаимно уничтожаются, в результате чего подавляются дифференциальные составляющие пульсаций. Взаимоуничтожение магнитных потоков препятствует входу в насыщение сердечника магнитопровода даже при максимальном токе, что позволяет применять для магнитопровода материал (CF199) с максимально возможной магнитной проницаемостью ( $\mu = 10\,000$ ). Расчёт такого дросселя не требуется, и ограничениями являются только максимальная частота рабо-

ты материала сердечника (до 100 кГц), его габаритные размеры, число витков и диаметр обмоточных проводов, которые также определяют габариты дросселя. Дроссель L1 намотан на кольцо T2010 Cosmo Ferrites ( $D \times d \times h = 20 \times 10 \times 10$  мм). Каждая из обмоток содержит 14 витков провода ПЭТВ-2 диаметром 1,2 мм и имеет индуктивность 3,8 мГн.

В дросселе L2 обмотки включены согласно. В этом случае подавляются синфазные составляющие пульсаций выпрямленного напряжения. В связи с тем, что магнитные потоки двух обмоток складываются, необходим несложный расчёт числа их витков, при котором материал сердечника не войдёт в насыщение при максимальном токе. Материал, используемый в подобных дросселях, должен иметь максимально возможную индукцию насыщения. Если раньше использовались материалы с  $B_{\max} = 0,4 \dots 0,5$  Тл (альсифер, пермаллой), то в настоящее время для подобных целей применяются порошковые материалы с  $B_{\max} = 1,1$  Тл (например, Cool Мп) и даже 1,5 Тл (High Flux) производства компании Magnetics. Кольца из этих материалов доступны и недороги.

Дроссель L2 намотан на кольцо размерами  $D \times d \times h = 26,9 \times 14,7 \times 11,2$  мм из материала Cool Мп с магнитной про-

ницаемостью  $\mu = 60$  (марка сердечника 77894A7) двойным проводом ПЭТВ-2 диаметром 1,0 мм (каждая обмотка наматывается двойным проводом). Число витков каждой обмотки – 12. На рисунке 19 начало каждой обмотки отмечено звёздочкой (\*). Индуктивность каждой из обмоток составляет 9,3 мкГн. При максимальном токе 10 А, протекающем по каждой из обмоток (встречно) и создающем магнитный поток, соответствующий току в 20 А, магнитная индукция составляет 0,99 Тл, что на 10% меньше максимально возможной магнитной индукции (1,1 Тл), при которой сердечник войдёт в насыщение. Максимальная частота работы материала Cool Мп с магнитной проницаемостью  $\mu = 60$  составляет 900 кГц.

Конденсаторы C1–C6 – электролитические алюминиевые, C7–C12 – электролитические танталовые, предназначенные для поверхностного монтажа (размер В). Конденсаторы C13–C18 – керамические для поверхностного монтажа (размер 1206).

Следует отметить, что LC-фильтр предназначен для подавления сигналов в диапазоне частот до 100 кГц. На сигналы низких частот (например, сетевой частоты 50 Гц) и высоких частот (единицы и десятки МГц), которые возникают при переключении транзисторов, этот фильтр влияния не оказывает. Эффективным способом подавления пульсаций в радиочастотном диапазоне является использование специальных ферритовых бусин [8].

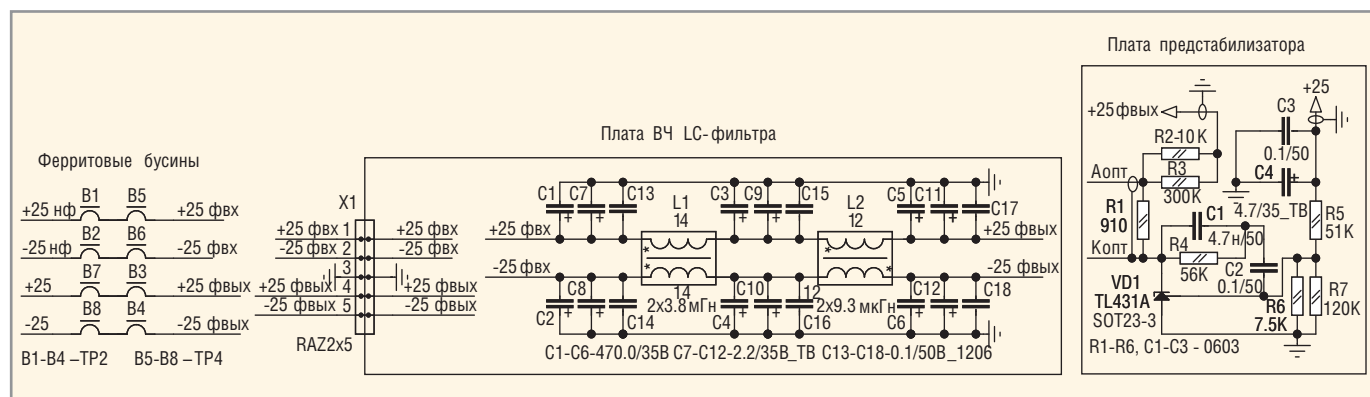


Рис. 19. Принципиальная схема LC-фильтра и предварительного стабилизатора



Ферритовая бусина представляет собой цилиндр с отверстием для провода, расположенным по его оси. Материал, из которого изготавливают бусины, имеет очень низкую магнитную проницаемость ( $\mu = 5 \dots 10$ ), поэтому бусина добавляет очень малую индуктивность (единицы и десятки нГн). Диаметр цилиндра – от единиц до нескольких десятков миллиметров. Существуют бусины с двумя отверстиями (их называют трансфлюксорами), четырьмя и даже с большим количеством отверстий, а также бусины для поверхностного монтажа.

В описываемом ИИП используют бусины диаметром 6 мм (B1–B4) с двумя отверстиями и четыре бусины диаметром 12 мм (B5–B8) с четырьмя отверстиями (см. рис. 19). Через эти бусины пропускаются провода, идущие от ВЧ-выпрямителя (+25 нф и –25 нф) к LC-фильтру, и провода, идущие от LC-фильтра к линейным стабилизаторам (+25 и –25). Кроме того, на провод с выходными напряжениями ИИП также надеты бусины, но большего размера. Несмотря на свою простоту, малый размер и достаточно низкую стоимость, ферритовые бусины могут на порядок и более снизить уровень радиочастотных пульсаций [8]. Об этом необходимо помнить при конструировании ИИП.

Разводка платы высокочастотного LC-фильтра приведена на рисунке 20. Плата крепится ко дну корпуса двумя карболитовыми уголками через крепёжные отверстия КО1 и КО2 (см. рис. 21). Дроссель L2 установлен на плате горизонтально и крепится к ней винтом, а дроссель L1, ввиду малого диаметра, установлен вертикально и крепится к плате изолированным металлическим хомутом. Пластина из карболита с двумя рядами по 5 лепестковых контактов (X1) крепится к плате фильтра с помощью двух металлических стоек (см. рис. 21).

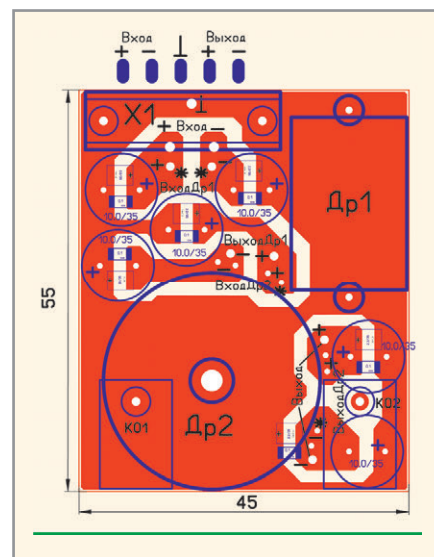
Плата предварительного стабилизатора (см. рис. 19) – устройство с оптронам и параллельным стабилизатором на микросхеме TL431 (KP142EN19A). Оно используется практически во всех ИИП обычно в паре с оптроном марки PC817 в корпусе DIP. Работает устройство очень просто. При увеличении тока нагрузки ИИП выходное напряжение падает, что приводит к уменьшению тока через параллельный стабилизатор TL431 (VD1 на рис. 19). Это приводит к уменьшению тока через светодиод оптрона PC3N7 (ОПТ1 на рис. 10),

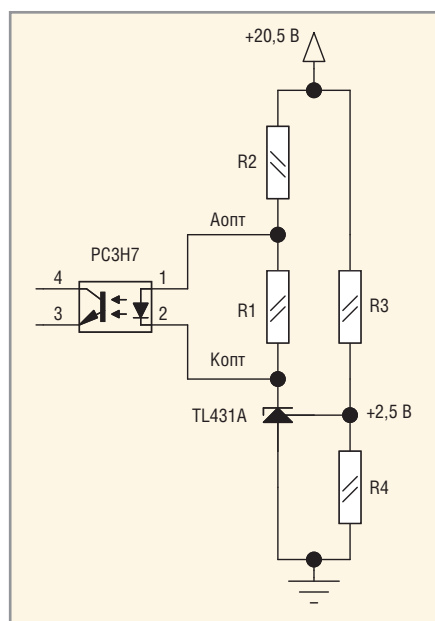
расположенного на плате контроллера. В результате уменьшается ток фототранзистора оптрона и растёт напряжение на нём, что приводит к увеличению длительности импульсов ШИМ, и, в свою очередь, к росту выходного напряжения, которое восстанавливается примерно до первоначального значения.

Плата предварительного стабилизатора соединяется с платой контроллера экранированным кабелем, по которому на анод светодиода оптрона подаётся сигнал  $A_{\text{опт}}$ , а на катод – сигнал  $K_{\text{опт}}$  (см. рис. 19). Сигнал  $K_{\text{опт}}$  соединяется с экраном, на который надета изолирующая трубка. Сигнал  $A_{\text{опт}}$  передаётся по проводу (МГТФ 0,05), идущему внутри экрана. Резисторы R2 и R3 ограничивают ток через оптрон и VD1, резистор R1 определяет начальный ток VD1, когда ток через оптрон отсутствует. Соотношение резисторов R5 и R6/R7 определяет выходное напряжение предварительного стабилизатора, составляющее около 20,5 В. Цепочка R4C1C2 определяет время реакции стабилизатора на изменение выходного напряжения. Конденсаторы C3 и C4 снижают уровень помех в сигнале, который подаётся на вход (Ref) VD1.

Несмотря на простоту схемы предварительного стабилизатора, точный расчёт номиналов резисторов на основе справочных данных невозможен, так как параметры активных элементов имеют достаточно большой разброс. Например, передаточная функция оптрона PC3N7, то есть соотношение тока светодиода и выходного тока фототранзистора (Current Transfer Ratio – CTR), нормируется в диапазоне 20...400%. Кроме того, достаточно высокий коэффициент усиления тока в ответ на изменение напряжения на выводе Ref параллельного стабилизатора (в нём применяется операционный усилитель) может привести к возникновению паразитных колебаний. Ко всему прочему, не известен закон, по которому изменяется длительность импульсов ШИМ в зависимости от тока светодиода оптрона, а также зависимость выходного напряжения от длительности импульсов ШИМ.

По этой причине была измерена зависимость длительности импульсов ШИМ-контроллера от тока через светодиод оптрона PC3N7. Для этого к стабилизированному источнику питания +5 В последовательно со светодиодом оптрона был подключён переменный резистор, вращая движок





**Рис. 22. Упрощённая схема предварительного стабилизатора**

мальные паспортные значения тока и напряжения TL431, при которых он работает в штатном режиме ( $I_{\min} = 1 \text{ мА}$ ,  $U_{\min} = 2,5 \text{ В}$ ), известны. Паспортное напряжение на светодиоде РС3Н7 при отсутствии тока составляет  $U_{\text{дмх.0}} = 0,9 \text{ В}$  в диапазоне температур  $25...50^\circ\text{С}$ . Измеренное максимальное падение напряжения на светодиоде оптрона при максимальном токе  $0,75 \text{ мА}$  равно  $U_{\text{оптр. макс}} = 1,1 \text{ В}$  (см. таб. 3).

Исходя из схемы, изображённой на рисунке 22, можно найти значение напряжения на входе Ref стабилизатора TL431:  $U_{\text{Ref}} = U_{\text{вых}} \times R4 / (R3 + R4)$ . Задав, например,  $R3 = 51 \text{ кОм}$ , можно найти значение  $R4$  из уравнения  $2,5 \text{ В} = 20,5 \text{ В} \times R4 / (51 \text{ кОм} + R4)$ . Значение  $R4 = 2,5 \text{ В} \times 51 \text{ кОм} / (20,5 - 2,5 \text{ В}) = 7,08 \text{ кОм}$ , или  $7,5 \text{ кОм}$  (из ряда E24). Выбрав из этого же ряда резистор  $120 \text{ кОм}$  и подсоединив его параллельно резистору  $7,5 \text{ кОм}$ , можно получить близкое к расчётному значение  $7,5 \text{ кОм} \parallel 120 \text{ кОм} = 7,059 \text{ кОм}$  ( $R6$  и  $R7$  по схеме на рисунке 19, соответственно).

Резистор R1 (см. рис. 22) должен обеспечить минимальный рабочий ток TL431  $I_{\min} = 1$  мА при падении напряжения на светодиоде  $U_{\text{Дмх0}} = 0,9$  В и отсутствии тока, то есть  $R1 = 0,9\text{ В} / 1\text{ мА} \approx 910$  Ом. Номинал резистора R2

(см. рис. 22) можно найти из следующих соображений. Максимальный ток через резистор R1 ( $I_{R1\text{макс}}$ ) будет равен максимальному падению напряжения на светодиоде оптрона при максимальном токе  $I_{\text{дмакс}} = 0,75 \text{ мА}$  ( $U_{\text{доптр.макс}}$ ), делённом на R1, то есть  $I_{R1\text{макс}} = U_{\text{доптр.макс}} / R1 = 1,1 \text{ В} / 910 \text{ Ом} = 1,2 \text{ мА}$ . Максимальный ток через резистор R2 ( $I_{R2\text{макс}}$ ) равен сумме максимального тока через светодиод оптрона ( $I_{\text{дмакс}} = 0,75 \text{ мА}$ ) и максимального тока через резистор R1, то есть  $I_{R2\text{макс}} = I_{\text{дмакс}} + I_{R1\text{макс}} = 0,75 \text{ мА} + 1,2 \text{ мА} = 1,95 \text{ мА}$ .

Минимальное значение напряжения на резисторе R2 ( $U_{R2\text{мин}}$ ) будет равно разности между выходным напряжением ( $U_{\text{вых}} = 20,5 \text{ В}$ ) и минимальным напряжением ( $U_{\text{мин}} = 2,5 \text{ В}$ ) на стабилизаторе TL431, при котором он ещё работает в штатном режиме, то есть  $U_{R2\text{мин}} = U_{\text{вых}} - U_{\text{мин}} = 20,5 \text{ В} - 2,5 \text{ В} = 18 \text{ В}$ . Зная ток через R2 ( $I_{R2\text{макс}} = 1,95 \text{ мА}$ ) и напряжение на нём ( $U_{R2\text{мин}} = 18 \text{ В}$ ), можно определить примерный номинал резистора  $R2 = U_{R2\text{мин}} / I_{R2\text{макс}} = 18 \text{ В} / 1,95 \text{ мА} = 9,23 \text{ кОм}$ .

Сопrotивление резистора R2 определяет своего рода коэффициент усиления тока TL431. Дело в том, что эта ИС содержит ОУ с большим коэффициентом усиления. Поэтому даже незначительное отклонение напряжения, поданного на его вход Ref, приводит к резкому изменению выходного тока. Этот ток проходит через R2 и, естественно, им ограничивается. От сопротивления R2 зависит рост тока при изменении напряжения на входе Ref, то есть, регулируя R2, можно изменять чувствительность ШИМ к изменению напряжения на входе Ref. Если этот коэффициент усиления слишком большой, то незначительное увеличение напряжения на входе Ref может привести к полному исчезновению импульсов ШИМ. С другой стороны, при малом коэффициенте усиления изменение напряжения на входе Ref будет слабо влиять на длительность импульсов, что не позволит обеспечить требуемый коэффициент стабилизации.

Чтобы выбрать оптимальный коэффициент усиления (то есть сопротивление R2), необходимо собрать схему (см. рис. 23) и экспериментально установить сопротивление R2 таким, чтобы

регулирование длительности импульсов осуществлялось при изменении напряжения питания в диапазоне от минимального 20,5 В до максимального 22,5...23 В. Для этого на лабораторном ИП установим значение напряжения питания стабилизатора 20,5 В, а движок резистора  $R^*$  сместим вправо (в соответствии со схемой на рисунке 23), то есть «закоротим» его. В этом случае значение  $R_2$  будет равно 8,2 кОм, а длительность импульсов будет максимальной. Увеличим напряжение питания на 0,1 В, то есть до 20,6 В. В этом случае длительность импульсов будет очень короткой или они вообще пропадут. Это означает, что коэффициент усиления очень высок. Восстановим напряжение до 20,5 В и сместим движок резистора  $R^*$  влево, например, на треть. Ещё раз увеличим напряжение на 0,1 В до 20,6 В. В этом случае длительность импульсов незначительно уменьшится, а при увеличении напряжения на 1 В длительность уменьшится приблизительно в два раза. И только при увеличении напряжения до 25...26 В длительность импульсов станет совсем короткой (0,2...0,5 мкс.). Это означает, что коэффициент усиления мал.

При установке сопротивления  $R^*$  таким образом, что общее сопротивление  $(R^* + 8,2)$  кОм будет равно ранее рассчитанному значению  $R_2 = 9,23$  кОм, максимальное значение напряжения питания, при котором ещё будут наблюдаться импульсы, окажется выше необходимых 23 В. Путём подобных экспериментов можно найти оптимальное значение  $R_2 = 9,6...9,7$  кОм, при котором регулирование длительности импульсов осуществляется в требуемом диапазоне напряжения питания 20,5...22,5 В. Сопротивления 9,67 кОм образуют два параллельно соединённых резистора 10 кОм и 300 кОм. На плате предварительного стабилизатора (см. рис. 19) именно такие номиналы и установлены ( $R_2 = 10$  кОм,  $R_3 = 300$  кОм).

Как показали измерения напряжения на выходе LC-фильтра, в зависимости от тока нагрузки оно изменяется следующим образом. При отсутствии нагрузки напряжение равно приблизительно 22,5...23 В, при токе нагрузки в диапазоне от 2 А до 7,5...8 А напряжение равно 20,54 В и от нагрузки мало меняется. При токе нагрузки в 10 А напряжение равно 20,3 В.

Технология подбора сопротивления R2 приводится для того, чтобы при использовании оптронов другого типа,

**Таблица 3. Зависимость длительности импульса ШИМ от тока светодиода оптрона**

| Показатель              | Значение |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I <sub>доптр</sub> , мА | 0,763    | 0,744 | 0,704 | 0,667 | 0,626 | 0,585 | 0,546 | 0,490 |
| T <sub>шим</sub> , мкс  | 0,5      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| U <sub>доптр</sub> , В  | —        | 1,1   | —     | —     | —     | —     | —     | 1,08  |



или при другом выходном напряжении ИИП, можно было правильно настроить плату предварительного стабилизатора. При использовании указанного на схеме оптрона и при выходном напряжении ИИП 20 В подбора не требуется, и правильно собранная плата предварительного стабилизатора работает сразу.

Цепочки R4, C1, C2 (см. рис. 19) препятствуют самовозбуждению параллельного стабилизатора TL431 и снижают уровень ВЧ-помех, проникающих на его вход Ref. Их схема и номиналы рекомендованы для контроллера LM5033 изготовителем, как и цепь R9C10 на плате контроллера (см. рис. 10), которая снижает уровень ВЧ-пульсаций в выходном напряжении оптрона.

Плата предварительного стабилизатора подключается к двум напряжениям, обозначенным как +25 фвых и +25 (см. рис. 19). Это два конца одного провода питания, который соединяет выходное напряжение LC-фильтра со входом линейного стабилизатора положительного напряжения. На этот провод надеты две ферритовые бусины, подавляющие радиочастотные помехи. Таким образом, вход предварительного

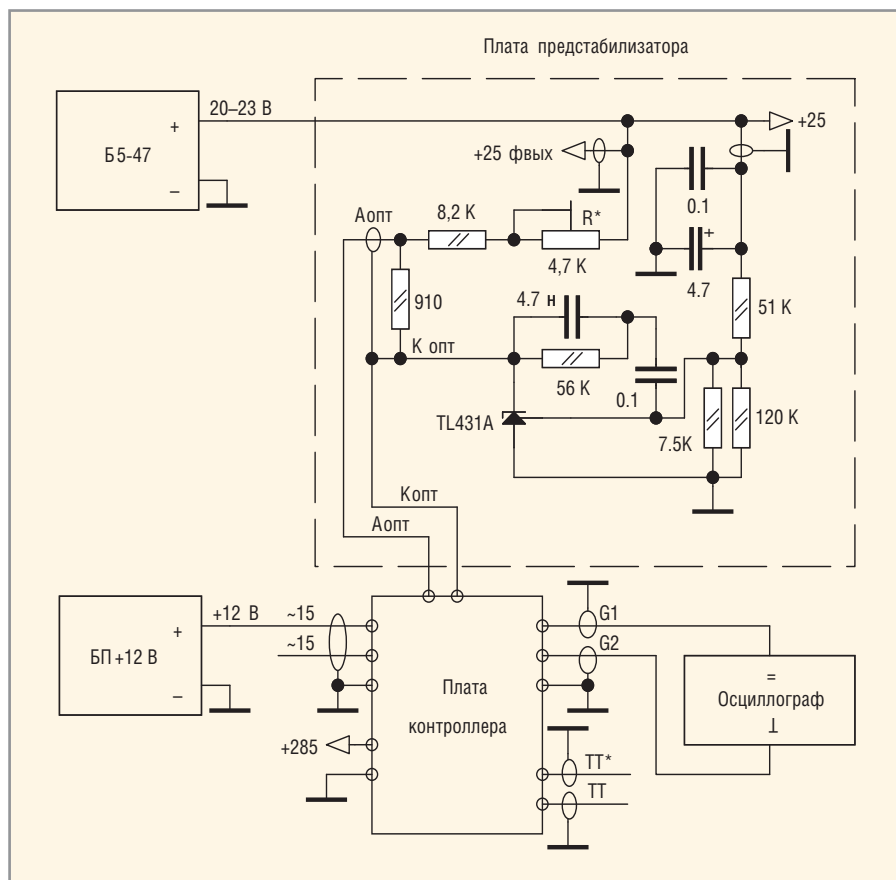
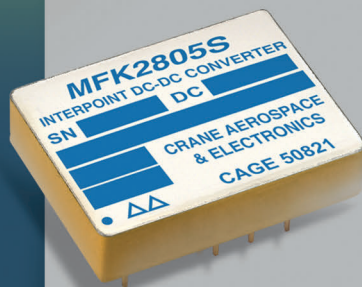


Рис. 23. Схема для настройки предварительного стабилизатора

# НОВИНКА!

## 25-ваттные DC/DC-преобразователи Interpoint® MFK Series™



- Широкий диапазон входного напряжения от 16 до 50 В
- Удельная мощность до 2570 Вт/дм³
- 11 значений выходного напряжения от 1,8 до 28 В
- Одно- и двухканальные модели
- КПД до 87%
- Трансформаторная развязка в контуре обратной связи
- Диапазон рабочих температур от -55 до +125°C
- Обширный ряд сервисных функций



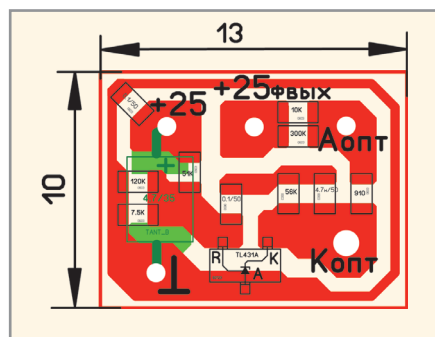
ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CRANE ELECTRONICS В РОССИИ

**ProSoft®**

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



Реклама



**Рис. 24. Разводка платы предварительного стабилизатора**

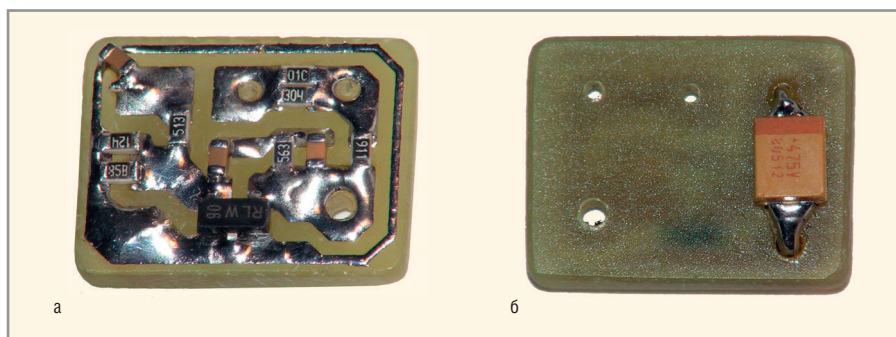
стабилизатора, обозначенный как +25, который формирует опорное напряжение для TL431, имеет более низкий уровень помех, чем вход, обозначенный как +25 фвх, через который проходит ток светодиода оптрона. Такое подключение предварительного стабилизатора – распространённая практика. Кроме того, именно так подключена обратная связь в оценочной плате для контроллера LM5033.

По существу, предварительный стабилизатор, входы которого подключены к выходному напряжению ШИМ, а выход – через оптрон ко входу Comp контроллера, реализует петлю отрицательной обратной связи (ООС). Теоретически рассчитать все параметры такой ООС достаточно сложно, так как на них влияет много факторов. Технология оценки параметров с элементами экспериментального подбора, приведённая ранее, даёт оптимальный результат.

Разводка платы предварительного стабилизатора очень проста (см. рис. 24), а размер платы уникально мал –  $10 \times 13$  мм. Танталовый конденсатор С4 (см. рис. 19) установлен на стороне, противоположной стороне размещения дорожек (см. рис. 25б). Сама плата не имеет крепёжных отверстий и приклеена к внутренней боковой поверхности корпуса отрезком двухсторонней пористой ленты.

## ЛИНЕЙНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ

Выходные напряжения положительной и отрицательной полярности, поступающие на входы линейных стабилизаторов, зависят от тока нагрузки: при малом токе (или вообще без нагрузки) эти напряжения имеют наибольшие значения  $\pm(22,5...23)$  В. В диапазоне от 2 до 7,5 А выходные напряжения равны приблизительно  $\pm 20,5$  В и слабо зависят от тока нагрузки. В диапазоне от 7,5 до 10 А эти напряжения постепенно снижаются с  $\pm 20,5$  В до  $\pm 20,3$  В. Назначение



**Рис. 25. Фотография платы предварительного стабилизатора:**

а – вид со стороны расположения дорожек, б – вид с обратной стороны

чение линейных стабилизаторов – стабилизировать напряжения на уровне  $\pm 20$  В во всём диапазоне тока нагрузки.

Для минимизации нагрева стабилизаторов разность между входными и выходными напряжениями не должна превышать 0,5 В при токах нагрузки от 2 до 7,5 А и 0,3 В при токе нагрузки в 10 А. Стандартные интегральные стабилизаторы здесь не подходят, так как, во-первых, при таких токах нагрузки имеют падение напряжения между входом и выходом, значительно превышающее 0,5 В, во-вторых, – медленную и неточную встроенную защиту от превышения тока, а в-третьих, интегральные стабилизаторы, рассчитанные на токи в 10 А и более, стоят более 1000 руб. за штуку.

Параметры стабилизаторов [6], построенных на основе мощных полевых транзисторов и ОУ, обеспечивают падение напряжения между входом и выходом не более 0,1 В при токе нагрузки в 10 А. Изменение выходного напряжения стабилизаторов, в зависимости от тока нагрузки, не превышает 0,01 В на каждый ампер тока. Стабилизаторы не имеют встроенной защиты от превышения тока, поскольку эту функцию эффективно выполняет контроллер ИИП. Кроме того, стоимость ОУ и полевых транзисторов в сумме не превышает 100 руб. Пульсация выходных напряжений стабилизаторов составляет всего несколько милливольт при токе нагрузки 10 А и более. К сожалению, стабилизаторы пропускают радиочастотные составляющие пульсаций.

Если взглянуть на схемы стабилизаторов (см. рис. 26), можно заметить необычное включение полевых транзисторов: входное напряжение подаётся на исток транзистора, а выходное снимается со стока. Хотя идея такого включения транзисторов не нова [5], совместное применение ОУ и мощных полевых транзисторов в линейных ста-

билизаторах встречается редко. При таком включении (см. рис. 26) стандартный полевой р-канальный транзистор будет работать в штатном режиме при питании отрицательным напряжением, поскольку напряжение на стоке более отрицательно, чем на истоке, так как выходное напряжение всегда ниже входного. При увеличении тока нагрузки, когда напряжение на стоке транзистора упадёт, для его восстановления необходимо приоткрыть транзистор, а для этого следует подать на его затвор напряжение более отрицательное, чем напряжение истока, то есть ниже входного напряжения на 4...6 В. Это напряжение очень просто получить из входного или выходного напряжения. Чтобы снизить выходное напряжение до номинального, надо увеличить напряжение на затворе. Если выходным напряжением управлять с помощью ОУ, то на инвертирующий вход необходимо подать опорное напряжение, а на неинвертирующий – напряжение с делителя выходного напряжения. Именно так устроен стабилизатор положительного напряжения (см. рис. 26б). Напряжение с делителя выходного напряжения R4, R5, R6 подаётся на неинвертирующий (+) вход ОУ (7), опорное напряжение – на его инвертирующий (–) вход (8), а выход ОУ (1) соединён с затвором транзистора Т1 (через резистор R7). Стабилизатор отрицательного напряжения на п-канальном полевом транзисторе (см. рис. 26а) работает аналогичным образом.

Платы стабилизаторов реализованы (см. рис. 27–30) с использованием компонентов для поверхностного монтажа, кроме микросхем ОУ в DIP-корпусе и большого танталового конденсатора С3 размера D, расположенных на стороне (см. рис. 28б и рис. 30б), противоположной стороне расположения дорожек (см. рис. 28а и рис. 30а). Благодаря использованию миниатюрных компонентов удалось скомпоно-



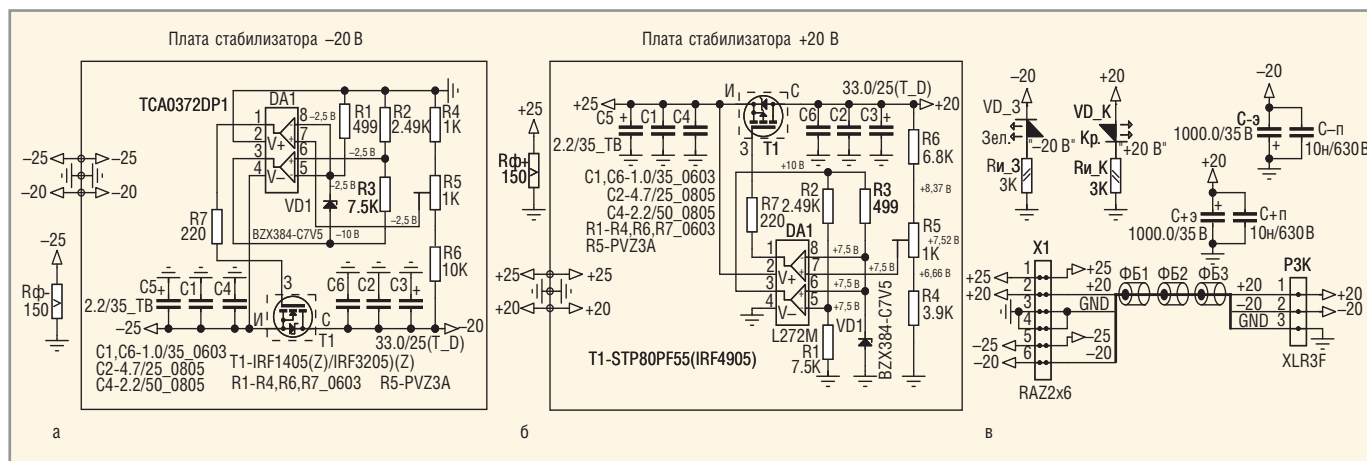


Рис. 26. Принципиальные схемы стабилизаторов:

а – отрицательной полярности, б – положительной полярности, в – схема индикации и назначение выводов выходного разъёма

вать стабилизатор на плате размером 15 × 16 мм. Это позволило минимизировать длину проводников, что исключило паразитную генерацию, иногда проявляющуюся в подобных стабилизаторах [6]. Малые габариты и небольшой вес плат позволили отказаться от крепёжных отверстий: платы держатся на выводах транзисторов, а сами транзисторы закреплены на теплоотводах винтами через керамические проклад-

ки с дополнительным слоем теплопроводящей пасты (см. рис. 31).

На рисунке 31 можно заметить два керамических проволочных резистора, которые определяют минимальный ток ИИП каждой полярности (это Rф– и Rф+, показанные на схеме на рисунке 26), два плёночных и два электролитических конденсатора (С–п, С+п и С–э, С–э соответственно) и два светодиода с токоограничительными резисторами (VD\_3, VD\_K, Ri\_3, Ri\_K). Светодиоды припаяны к двум проводам, которые позволяют вставить их в отверстия верхней крышки корпуса ИИП, закрытые прозрачными пластмассовыми заглушками. Красный (К) светодиод индицирует наличие положительного выходного напряжения, зелёный (З) – отрицательного. Все эти компоненты припаяны к лепесткам выходного разъёма (X1 на рисунке 26в) навесным спо-

сторам (VD\_3, VD\_K, Ri\_3, Ri\_K). Светодиоды припаяны к двум проводам, которые позволяют вставить их в отверстия верхней крышки корпуса ИИП, закрытые прозрачными пластмассовыми заглушками. Красный (К) светодиод индицирует наличие положительного выходного напряжения, зелёный (З) – отрицательного. Все эти компоненты припаяны к лепесткам выходного разъёма (X1 на рисунке 26в) навесным спо-

## Уменьшение объёма,

сокращение затрат и повышение эффективности  
с применением новейших технологий  
в создании DC/DC-преобразователей



**XP Power**

**DC/DC-преобразователи средней и повышенной мощности**



### Серия ICH 50–150 Вт

- Диапазоны входных напряжений: стандартный (2:1) и широкий (4:1)
- КПД до 90%
- Диапазон рабочих температур –40...+100°C
- Одноканальные модели с выходными напряжениями от 2,5 до 24 В
- Габариты (Ш×Г×В): 61×57,9×12,7 мм



### Серия IFH 200 Вт

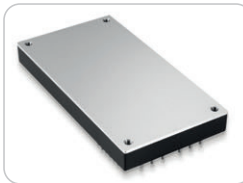
- Диапазон входных напряжений стандартный (2:1)
- КПД до 90%
- Диапазон рабочих температур –40...+100°C
- Одноканальные модели с выходными напряжениями от 2,5 до 48 В
- Габариты (Ш×Г×В): 61×116,8×13,2 мм



### Серия QSB 75–350 Вт

- Диапазоны входных напряжений: стандартный (2:1) и широкий (4:1)
- КПД до 92,5%
- Диапазон рабочих температур –40...+100°C
- Высокая удельная мощность

- Отвод тепла через основание корпуса
- Одноканальные модели с выходными напряжениями от 3,3 до 28 В
- Габариты (Ш×Г×В): 36,8×57,9×12,7 мм; 61×57,9×13,2 мм (QSB150-350)



### Серия QSB600 600 Вт

- Диапазон входных напряжений стандартный (2:1)
- КПД до 92%
- Диапазон рабочих температур –40...+100°C
- Высокая удельная мощность

- Отвод тепла через основание корпуса
- Одноканальные модели с выходными напряжениями от 12 до 32 В
- Габариты (Ш×Г×В): 61×116,8×12,7 мм (формат Full Brick Package)

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ XP POWER**

**ProSoft®**

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



Реклама

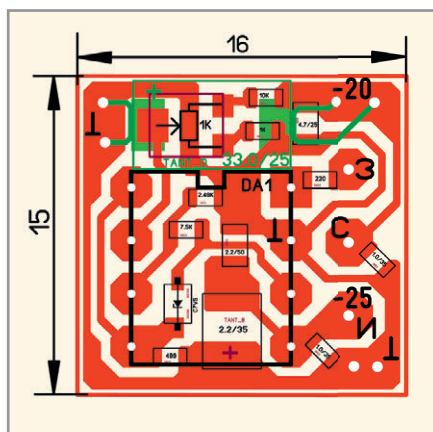


Рис. 27. Разводка платы стабилизатора -20 В

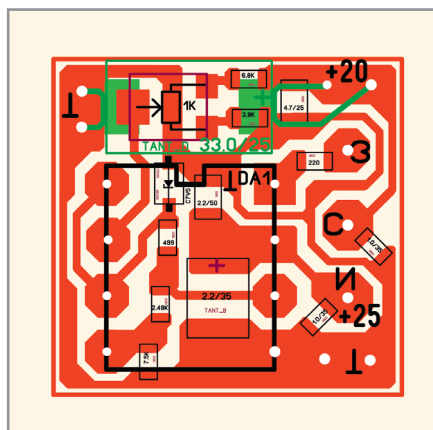


Рис. 29. Разводка платы стабилизатора +20 В

собом, а сам разъём из карболита закреплён на радиаторах двумя винтами. К этому же разъёму припаяны провода с входными напряжениями стабилизаторов (+25 и -25, на рисунке 26в), на которые надеты по две ферритовые бусины, и кабель с выходными напряжениями, на который надета резиновая втулка (см. рис. 32а, слева). Радиаторы крепятся ко дну корпуса ИИП винтами на двух карболитовых уголках. Марка теплоотводов – HS-117-50 (43 × 50 × 20 мм).

Благодаря хорошим параметрам, вышеописанные стабилизаторы с успехом могут быть использованы не только в ИИП, но и в БП с обычным сетевым трансформатором. Выходной ток стабилизаторов может значительно превышать ток 10 А. Максимальный паспортный ток n-канальных транзисторов IRF3205 и IRF1405 составляет 75 А. Р-канальные транзисторы также отличаются большими токами: IRF4905 (74 А), STP80PF55 (80 А). Поэтому стабилизаторы на их основе могут работать с токами, значительно превышающими 10 А. Выходное напряжение также не ограничивается ±20 В. Хотя упомянутые транзисторы и могут эксплуатироваться при максимальном напряжении

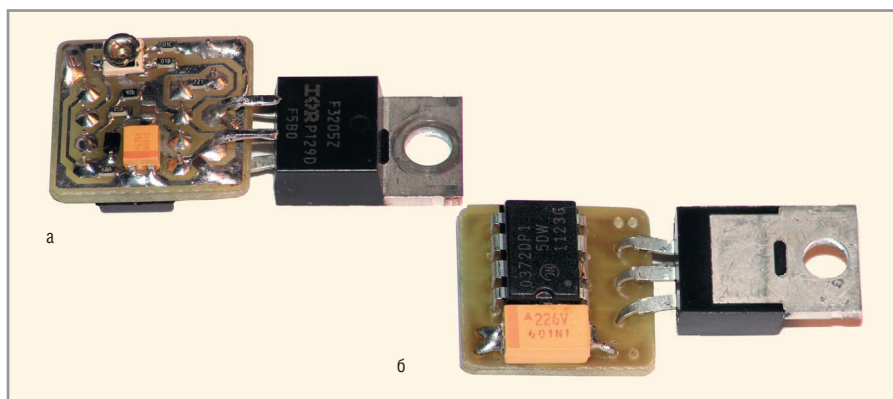


Рис. 28. Фотографии платы стабилизатора -20 В:

а – вид со стороны дорожек, б – вид с обратной стороны

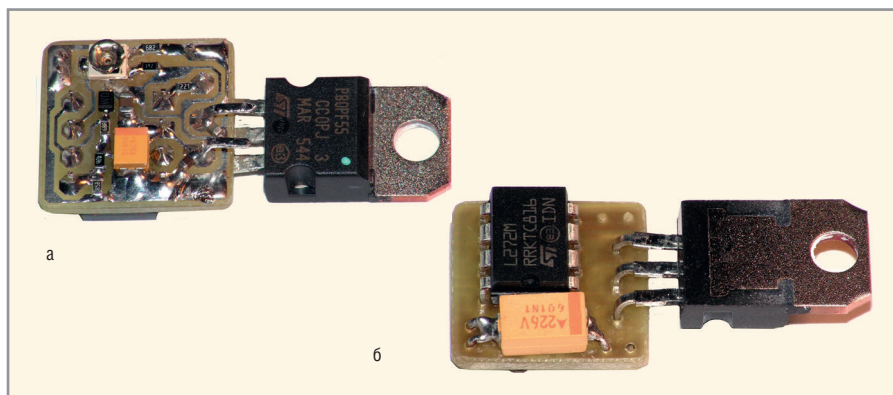


Рис. 30. Фотографии платы стабилизатора +20 В:

а – вид со стороны дорожек, б – вид с обратной стороны

в 55 В, использованные ОУ могут работать при напряжении только 30 В (абсолютный максимум составляет 40 В), что является ограничением для вышеописанных стабилизаторов. Однако существуют ОУ с более высоким напряжением питания, на основе которых могут быть построены высоковольтные стабилизаторы с низким падением напряжения и сверхмалым уровнем пульсации выходного напряжения.

### Компоновка, внешний вид и результаты испытаний ИИП

Корпус для ИИП PL 20-8(91), произведённый фирмой SANHE, имеет размеры 178 × 108 × 69 мм (см. рис. 32). Его особенность – наличие большого количества вентиляционных отверстий, расположенных на всех поверхностях, что способствует конвективному охлаждению теплоотводов. Однако если отбираемая мощность превышает 150 Вт, ИИП будет перегреваться. При установке теплоотводов вне корпуса, мощность, отдаваемая ИИП в нагрузку, может быть значительно выше. Второй вариант – применение принудительного охлаждения с помощью вентилятора. В любом случае, при соответствующем охлаждении, ИИП способен

отдавать мощность до 400 Вт в течение длительного времени.

Испытания ИИП проводились по схеме, приведённой на рисунке 33. С помощью резисторов R11–R33 мощностью 75 Вт и переключателей Т1–Т3 можно установить следующие выходные токи: 2 А (включён только тумблер Т3), 4 А (Т1 или Т2), 6 А (Т1 и Т3 или Т2 и Т3), 8 А (Т1 и Т2) и 10 А (Т1, Т2 и Т3). Резисторы RП1 и RП2 мощностью 50 Вт предназначены для имитации перегрузки по току. Если включены все тумблеры Т1–Т3, то при включении тумблера ТП выходной ток возрастёт до 15 А, что при напряжении ± 20 В соответствует мощности 600 Вт. В этом случае срабатывает защита, и контроллер переходит в режим мягкого запуска с периодом повторения 0,3...0,5 с.

Цифровой вольтметр (V) позволяет контролировать выходное напряжение, а по осциллографу, вход которого должен быть закрытым (–), наблюдается размах пульсаций. Испытания ИИП показали, что все свои функции он выполняет в полном объёме.

Описанный в статье ИИП создавался как альтернатива БП с обычным сетевым трансформатором. Единственным преимуществом БП без преобразования перед ИИП является почти на



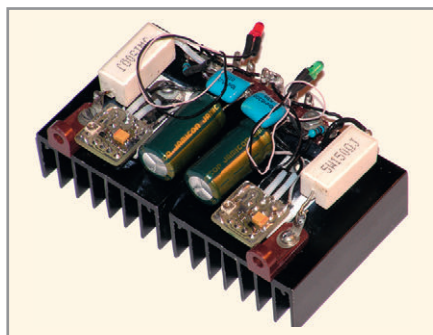


Рис. 31. Фотография стабилизаторов на радиаторах

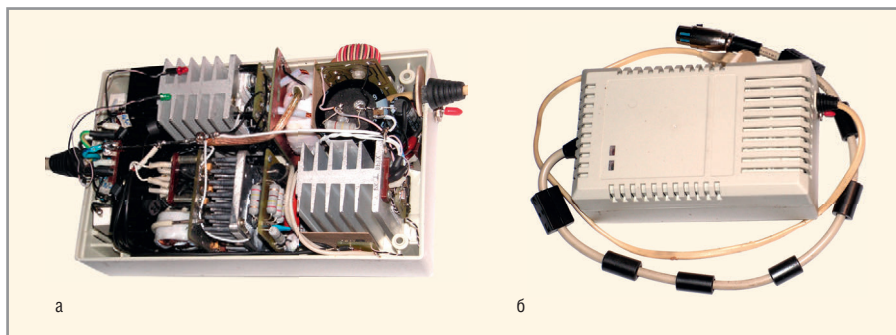


Рис. 32. Фотографии ИИП в корпусе: а – со снятой крышкой, б – общий вид в сборе

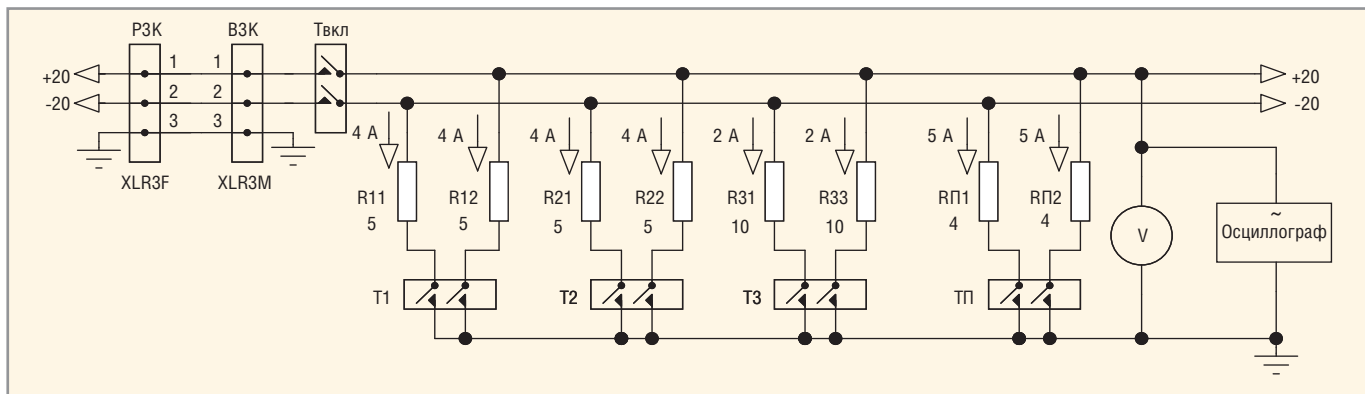


Рис. 33. Схема испытания ИИП (показано тестирование канала +20 В)

порядок меньший размах пульсаций выходного напряжения.

При изготовлении печатных плат описанного ИИП автор использовал упрощённую процедуру получения фотошаблона в отличие от [3]: печатаем его любым лазерным принтером непосредственно из программы Layout 6.0 на универсальной прозрачной плёнке LOMOND (марка 0710421), предназначенной для лазерных и струйных принтеров, на стороне лазерной печати, затем для увеличения плотности тонера помещаем его на полчаса в атмосферу дихлорэтана. Уточнено время экспонирования стеклотекстолита фирмы Bungard с нанесённым фоторезистором по сравнению с [4]: 4 минуты под УФ-лампой ULTRA VITALUX 300 Вт с расстояния 40 см. Уточнена концентрация раствора для проявления: в пустую бутылку из-под «Кро-та» наливается одна полная жидкости крышка от этой же бутылки и разбавляется доверху водой. Температура проявления +25...+30°C, время – 5–7 минут.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современных электронных компонентов, в том числе микросхемы контроллера LM5033, быстродействующих высоковольтных полевых транзисторов в ВЧ-преобразователе, кольцевых сердечни-

ков из магнитомягких материалов с низким уровнем потерь и порошковых материалов с высокой магнитной индукцией насыщения ( $B_{max} = 1,1$  Тл) в выходном помехоподавляющем дросселе, активного фильтра выпрямленного сетевого напряжения на мощном полевом транзисторе, R2CD снаббера в ВЧ-преобразователе, линейных стабилизаторов на базе ИОУ и мощных полевых транзисторов позволило сконструировать достаточно компактное и надёжное устройство с пассивным охлаждением.

Без изменения схемы описанный ИИП способен работать при трёхкратном увеличении мощности (с 400 Вт до 1,2 кВт) и более. Для увеличения выходной мощности требуется только изменить номиналы некоторых компонентов, применить радиаторы с большей площадью (или принудительное охлаждение с помощью вентилятора), а также использовать сердечники трансформаторов и фильтров большего размера.

Если требования к стабильности и уровню пульсаций выходных напряжений не очень высокие (например, в зарядных устройствах автомобильных аккумуляторов), то ИИП можно значительно упростить. В этом случае можно исключить активный транзисторный фильтр сетевого напряжения и линейные стабилизаторы, а вместо

LC-фильтра использовать конденсаторы небольшой ёмкости. На выходную мощность ИИП это не повлияет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мачинский В., Штильман В. Сглаживающие фильтры на транзисторах. Радио. 1965. № 4.
2. Жучков В., Зубков О., Радутный И. Блок питания УМЗЧ. Радио. 1987. № 1.
3. Кузьминов А. Метод фоторепродуцирования для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 5–7.
4. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. 2010. № 8–10.
5. Кузьминов А. Мощный стабилизатор двухполярного напряжения для УМЗЧ. Радио, № 5, 2012
6. Кузьминов А. Использование мощных полевых транзисторов и операционных усилителей в прецизионных регуляторах и стабилизаторах напряжения. Современная электроника. 2012. № 7.
7. Meares Larry. Designing R2CD Snubbers Using Standard Recovery Diodes. Intusoft. www.intusoft.com. 2013.
8. Уильямс Д. Минимизация прохождения помех от импульсного стабилизатора напряжения через линейный стабилизатор. Компоненты и технологии. 2007. № 2.

## Новости мира News of the World Новости мира

**Google выпустила бета-версию Cloud Deployment Manager**

Пользователи сервисов облачной инфраструктуры Google получили ещё один инструмент автоматизации развёртывания и управления виртуальной инфраструктурой для исполнения облачных приложений и сервисов. Компания объявила о доступности бета-версии инструмента Google Cloud Deployment Manager, который должен облегчить организациям создание и тестирование промышленных конфигураций для выполнения облачных приложений.

Технический руководитель группы облачных платформ Google Крис Крэлл характеризует Cloud Deployment Manager как технологию, позволяющую разработчикам создавать требуемую среду исполнения просто на основании её описания. «Мы поддержали декларативный синтаксис, то есть вы описываете желаемый результат, а не последовательность действий для его достижения», — сообщил Крэлл. Такой подход исключает необходимость в использовании командной

строки и в создании программного кода для вызова специальных API.

Таким образом, когда администратору облака требуется разместить пул виртуальных машин, он готовит описание типа виртуальных машин, причисляет их к нужной группе, конфигурирует автоматическое масштабирование и балансировку нагрузки. «Вы можете описать эти ресурсы в виде шаблона и развернуть их буквально одной командой в Deployment Manager», — пояснил Крэлл.

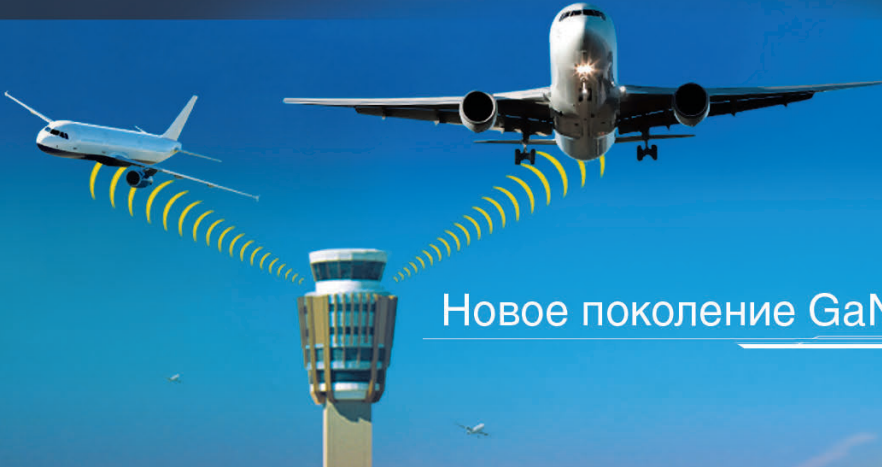
Новый инструмент предоставляет визуальный интерфейс Google Developers Console, который позволяет разработчикам просматривать и удалять развёрнутые виртуальные машины. Имеется также механизм интеграции с дисковыми и сетевыми ресурсами Google Cloud Platform, что позволяет ускорить развёртывание и обеспечить визуализацию виртуальных серверов.

Deployment Manager пополнит растущее семейство продуктов Google для управления облачной конфигурацией и её орке-

стрровкой. В это семейство уже входят продукты Chef, Puppet, Ansible и SaltStack. Как и Deployment Manager, они обеспечивают автоматизированное управление облачными инфраструктурами. Администраторы могут использовать их для быстрого создания и удаления виртуальных экземпляров, исполняемых на Google Compute Engine. Deployment Manager можно применять для инсталляции, конфигурирования и обновления ПО на виртуальных машинах, управления параметрами работы дисков, межсетевых экранов и балансировщиков нагрузки.

Среди прочих менеджеров конфигураций Deployment Manager выделяет то, что он является «родным» для облачной платформы Google, а также предлагает декларативную систему конфигурирования, позволяющую разработчикам просто описывать ту среду, в которой им хочется выполнять свои приложения.

Ещё одним отличием Deployment Manager является возможность осуществлять администрирование и визуальный анализ облач-



## Новое поколение GaN-транзисторов

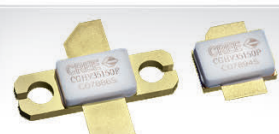
# CREE



**CGHV14250**  
Диапазон частот: 1200–1400 МГц  
Мощность: 250 Вт  
Коэффициент усиления: 18 дБ



**CGHV14500**  
Диапазон частот: 1200–1400 МГц  
Мощность: 500 Вт  
Коэффициент усиления: 17 дБ



**CGHV35150**  
Диапазон частот: 2900–3500 МГц  
Мощность: 150 Вт  
Коэффициент усиления: 13,5 дБ

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CREE (MICROWAVE)**



**ProCHIP**  
POWERED BY ProSOFT

**Активный компонент вашего бизнеса**

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

Реклама



# Новости мира News of the World Новости мира

ных сред прямо из консоли разработчика Developers' Console. Поскольку Deployment Manager является «родным» для Cloud Platform, предприятиям не нужно развёртывать никаких дополнительных инструментов управления, что, в том числе, экономит и денежные средства.

Выпуск бета-версии Cloud Deployment Manager продолжил серию анонсов, сделанных Google в последние месяцы с целью облегчить компаниям управление облачной инфраструктурой, приложениями и сервисами. Так, в марте нынешнего года Google представил опцию «установи в один клик» для Puppet, которая, как утверждается, упрощает установку этого инструмента на Google Compute Engine и выполнение таких задач, как установка и обновление ПО на виртуальных машинах.

Кроме того, в марте Google анонсировала Cloud Launcher – коллекцию из более чем 120 готовых к работе облачных пакетов с открытым кодом, которые также нацелены на сокращение времени и затрат на развёртывание и конфигурирование приложений на Google Cloud Platform.

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

## Утверждены правила использования технологии ближней связи NFC

Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации сообщает о вступлении в силу изменений в нормативно-правовую базу, регулиующую применение в РФ встроенных в смартфоны и планшетные компьютеры вспомогательных устройств ближней связи NFC.

Соответствующий приказ размещён на сайте Минкомсвязи России. Приказом устанавливаются обязательные требования к параметрам устройств ближней связи NFC, что позволит реализовать разнообразные услуги с применением мобильного устройства с NFC-модулем и предоставить эти услуги населению.

Примерами таких услуг может стать использование мобильного терминала в качестве транспортной карты, платёжного средства, родительский контроль посещения школы и питания учеников.

Установленные приказом требования определяют параметры модуляции, кодирования, скорости передачи и радиочастотную структуру интерфейса устройств NFC, а также схемы инициализации и условия, требуемые для контроля за конфликтными ситуациями во время инициализации

как для пассивных, так и для активных режимов NFC.

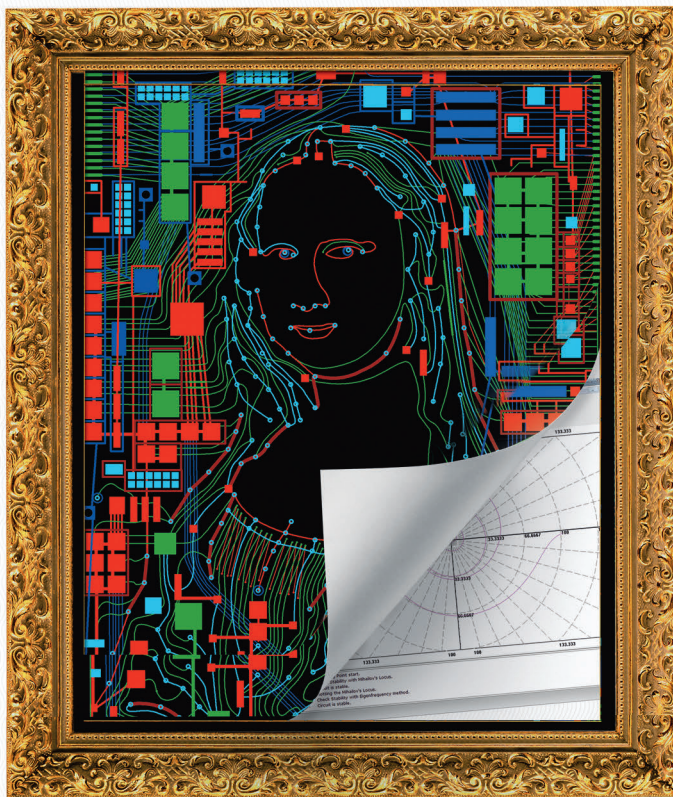
Приказом вносятся изменения в правила применения мобильных устройств стандартов GSM-900/1800, IMT-TC-2000, UMTS с частотным дуплексным разнесом и частотно-кодовым разделением радиоканалов, работающих в диапазонах 900 и 2000 МГц, стандарта LTE и стандарта IMT-TC-450.

NFC (Near Field Communication) – технология ближней связи, позволяет организовать практически мгновенный бесконтактный обмен данными между устройствами в небольшом радиусе действия (~20 см). Используется для осуществления платежей, идентификации пользователей, считывания данных. Технология нацелена на применение в мобильных телефонах и планшетных компьютерах.

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

**EREMEX**  
Инновационный подход к проектированию электроники

## САПР



Вер. 6.1

**ТОПОР**

Топологический  
трассировщик  
печатных плат



Вер. 2.3 NEW

**SIMONE**

Пакет моделирования  
электронных схем

Тел.: (495) 232-1864 • [www.eremex.ru](http://www.eremex.ru)

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ EREMEX**

**PROSOFT®**

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



Реклама

# Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах

## Часть 2

Максим Соковишин, Keysight Technologies

В статье разбираются основные понятия, которые используются при измерении и вычислении шумовых характеристик радиоэлектронных устройств и их компонентов. Во второй части статьи делается акцент на методах и инструментах для измерения коэффициента шума.

### ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА

#### Линейность мощности шума

В основе большинства измерений коэффициента шума лежит фундаментальная характеристика линейных двухпортовых устройств – линейная зависимость мощности шума на выходе устройства от мощности шума на входе, или шумовой температуры источника. При импедансе источника с температурой абсолютного нуля выходная мощность шума состоит исключительно из мощности  $N_a$ , добавленной тестируемым устройством. Для других температур источника выходная мощность шума складывается из теплового шума от источника, усиленного в соответствии с коэффициентом передачи тестируемого устройства. Если угол

наклона прямой (см. рис. 5) и опорная точка известны, можно найти выходную мощность, соответствующую величине  $N_a$ . Зная  $N_a$ , можно вычислить коэффициент шума, или эффективную шумовую температуру на входе (см. первую часть статьи). Чтобы получить линейную зависимость при измерениях коэффициента шума, схему автоматической регулировки усиления нужно отключить.

#### Источники шума

Один из способов определения угла наклона графика шума заключается в подаче на тестируемое устройство двух различных уровней входного шума и замерах изменения выходной мощности. Источник шума представляет собой устройство, которое может выдать эти два заранее известных уровня шума. Наиболее популярный источник шума состоит из специального диода с малой ёмкостью, который генерирует шум, будучи обратным смещённым в область лавинного пробоя напряжением постоянного тока. Прецизионные источники шума, такие как Keysight SNS (см. рис. 6), имеют выходной аттенуатор, обеспечивающий низкий КСВ для уменьшения ошибок рассогласования при измерениях. Если имеется разница импедансов во включённом и выключенном состоянии, может появиться ошибка в измерении коэффициента шума. Для минимизации этого эффекта источник шума N4000A обеспечивает большее ослабление. Когда диод смещён, уровень шума на выходе больше величины  $kT_c B$  – из-за лавинного режима генерации шума в диоде. Когда диод не смещён, на выходе присутствует тепловой шум, создаваемый в аттенуаторе, равный  $kT_c B$ . Эти уровни шума называют Hot («горячий») и Cold («холодный») и обознача-

ют как  $T_h$  и  $T_c$  соответственно. Источник шума N4001A создаёт уровни шума, приблизительно эквивалентные температуре 10 000 К во включённом состоянии и 290 К в выключенном. Компания Keysight поставляет диодные источники шума в диапазонах до 50 ГГц.

Для измерения коэффициента шума источник шума должен иметь калиброванный уровень выходного шума, представленный избыточным коэффициентом шума (Excess Noise Ratio, ENR). Калибровочная информация ENR для источника шума поставляется производителем. В случае приборов серии SNS она хранится во внутреннем электрически перепрограммируемом ПЗУ. Другие источники шума поставляются с данными, содержащимися на диске-те или в виде твёрдой копии.

Коэффициент  $ENR_{dB}$ , выраженный в децибелах (дБ), равен отношению  $(T_h - T_c) / T_o$ , где  $T_o = 290$  К. Следует отметить, что источник шума с ENR, равным 0 дБ, создаёт разницу температур в 290 К между включённым (On) и выключенным (Off) состояниями. Вопреки распространённому мнению, ENR не отражает уровень шума в состоянии On относительно  $kTB$ .

$$ENR_{dB} = 10 \log \left( \frac{T_h - T_c}{T_o} \right). \quad (3.1)$$

Предполагается, что когда калибровка выполнена, температура  $T_c$  в уравнении (3.1) равна 290 К. Когда источник шума используется при различных физических температурах, в результате измерений должна вноситься компенсационная поправка. Источник шума серии SNS имеет температурный датчик, информация с которого может считываться анализатором NFA компании Keysight.

Источники шума могут быть откалиброваны по переносному эталонному источнику шума (в соответствии со стандартом NSTL) или по первичному физическому эталону, такому как «горячая/холодная» нагрузка. Большинство источников шума снабжаются информацией об ENR в зависимости от частот.

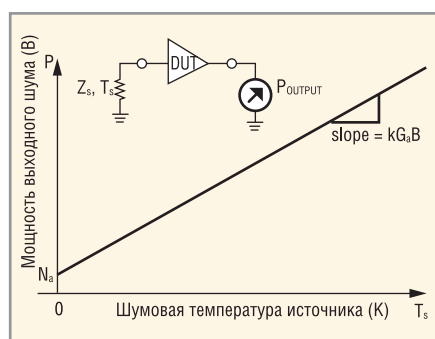


Рис. 5. Зависимость выходной мощности шума линейных двухпортовых устройств от температуры источника



Рис. 6. Источник шума серии SNS



Газоразрядные трубки, встроенные в волноводные структуры, генерируют шум, обусловленный кинетической энергией плазмы. Традиционно они использовались как источники шума в диапазоне миллиметровых волн. Позднее они стали заменяться твердотельными шумовыми диодами на частотах ниже 50 ГГц. Шумовые диоды проще в эксплуатации и обычно являются более стабильными источниками шума. Шумовые диоды чаще имеют коаксиальную конструкцию, но на выходе из волновода могут применяться интегральные прецизионные волноводные адаптеры (см. рис. 7).

### Метод Y-фактора

Метод Y-фактора лежит в основе большинства измерений коэффициента шума, выполняемых внутренними средствами анализатора коэффициента шума как в ручном, так и автоматическом режимах. При использовании источника шума этот метод позволяет определять внутренний шум в тестируемом устройстве и, следовательно, коэффициент шума или эффективную температуру входного шума.

С помощью источника шума, подключенного к тестируемому устройству, можно измерить выходную мощность, соответствующую On- и Off-состояниям источника шума ( $N_2$  и  $N_1$  соответственно). Отношение этих двух мощностей называется Y-фактором. Детектором мощности в данных измерениях может служить измеритель мощности, анализатор спектра или специальный внутренний детектор мощности, действующий как измеритель и анализатор коэффициента шума. Здесь важна точность измерения относительного уровня мощности. Одно из преимуществ современных анализаторов коэффициента шума состоит в том, что их внутренний детектор мощности – линейный и способен очень точно фиксировать изменения уровня мощности. Точность измерения абсолютного уровня мощности в данном случае не имеет большого значения, поскольку измеряться должно отношение мощностей:

$$Y = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.3)$$

Иногда это отношение измеряется в децибелах. В этом случае:

$$Y = 10^{\frac{Y_{db}}{10}} \quad (3.4)$$

Y-фактор и ENR могут использоваться для определения крутизны графика

изменения мощности шума тестируемого устройства (как показано на рисунке 5). Поскольку калиброванный ENR-источник шума представляет собой опорный уровень входного шума, можно вывести уравнение для вычисления внутреннего шума тестируемого устройства ( $N_a$ ). В современном анализаторе шума это делается автоматически, путём переключения источника шума между состояниями On и Off и выполнения соответствующих вычислений.

$$N_a = kT_0BG_1 \left( \frac{ENR}{Y-1} - 1 \right) \quad (3.5)$$

Отсюда можно вывести очень простое выражение для шум-фактора, которое отражает полный шум-фактор системы ( $F_{sys}$ ), включающий шумовой вклад всех её компонентов. В этом случае шум, создаваемый в измерительном приборе, расценивается как вклад второго каскада. Если тестируемое устройство имеет высокий коэффициент передачи ( $G_1 \gg F_2$ ), шумовой вклад второго каскада будет малым. Когда коэффициент шума второго каскада и коэффициент передачи тестируемого устройства известны, вклад второго каскада можно не учитывать. Обратите внимание, что коэффициент передачи устройства не требуется для вычисления  $F_{sys}$ .

$$F_{sys} = \frac{ENR}{Y-1} \quad (3.6)$$

Уравнение (3.6) можно модифицировать для условия, когда «холодная» температура источника шума ( $T_c$ ) не равна эталонной температуре  $T_0$  (290 K):

$$F_{sys} = \frac{ENR - Y \left( \frac{T_c}{T_0} - 1 \right)}{Y-1} \quad (3.7)$$

### Метод генератора сигналов с удвоением мощности

Этот метод был популярен до появления источников шума. Сегодня он остаётся полезным для устройств с высоким коэффициентом шума, где Y-фактор может быть настолько мал, что его трудно точно измерить. Сперва измеряется выходная мощность устройства, когда на его входе имеется нагрузка с температурой приблизительно 290 K. Затем подключается генератор сигналов с частотой в пределах полосы измерения. Мощность выходного сигнала генератора устанавливается с таким расчётом, чтобы мощность на выходе устройства уве-

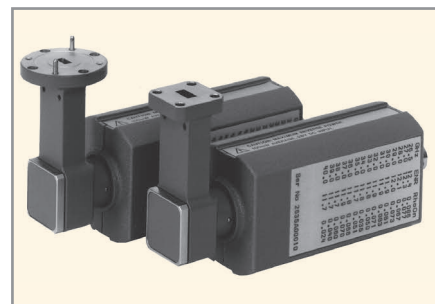


Рис. 7. Волноводные источники шума R/Q 347B

личилась на 3 дБ. Если уровень мощности генератора и ширина полосы частот измерения известны, можно вычислить шум-фактор. Коэффициент передачи тестируемого устройства при этом знать не нужно.

$$F_{sys} = \frac{P_{gen}}{kT_0B} \quad (3.8)$$

### Метод прямого измерения шума

Этот метод также полезен для тестирования устройств с высоким коэффициентом шума. Выходная мощность устройства измеряется при входной нагрузке с температурой около 290 K. Если коэффициент передачи устройства и шумовая полоса измерительной системы известны, шум-фактор можно рассчитать по формуле:

$$F_{sys} = \frac{N_0}{kT_0BG} \quad (3.9)$$

При использовании этого метода должна быть известна шумовая полоса (B), а устройство измерения мощности должно быть высокочувствительным и обеспечивать точность измерения. В отличие от метода удвоения мощности, в данном случае коэффициент передачи тестируемого устройства должен быть известен.

### Коррекция коэффициента шума и коэффициента передачи

Перепишав приведённое в первой части статьи уравнение (2.2) для  $F_1$ , можно найти фактический шум-фактор тестируемого устройства:

$$F_1 = F_{sys} - \frac{F_2 - 1}{G_1} \quad (3.10)$$

Коэффициент передачи тестируемого устройства и шум-фактор измерительной системы ( $F_2$ ) можно определить путём дополнительного измерения источника шума. Этот шаг называется калибровкой системы. Калибровка обычно выполняется с помощью анализатора коэффициента шума перед подключением тестируемого устрой-

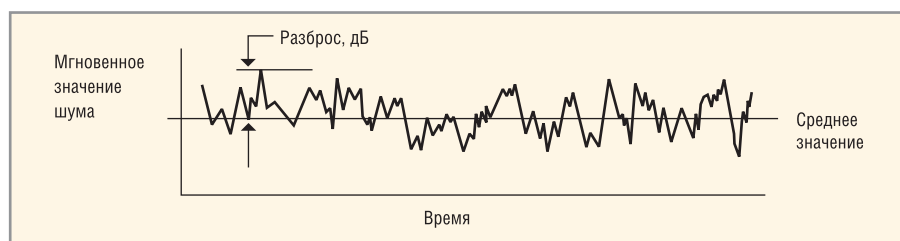


Рис. 8. Шумовые флуктуации вокруг среднего значения

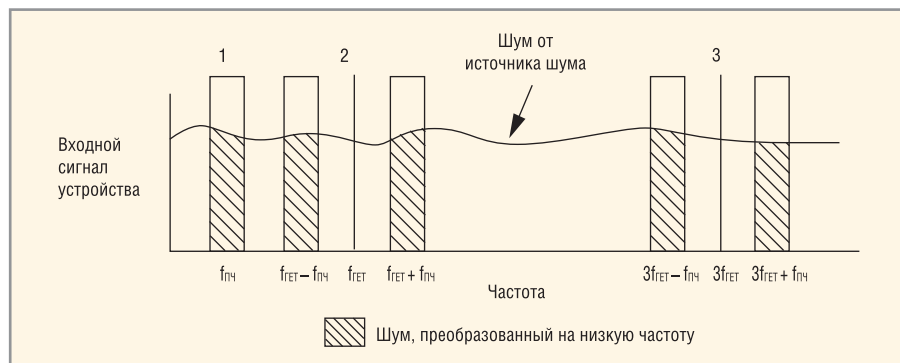


Рис. 9. Механизмы преобразования шума в смесителях и преобразователях частоты:

1 – прямое прохождение сигнала ПЧ; 2 – двухполосное преобразование; 3 – преобразование на гармониках

ства, поэтому внесённые поправки могут использоваться во всех последующих измерениях, а на дисплее будет отображаться скорректированное значение коэффициента шума. Все вычисления, необходимые для определения коэффициента передачи и скорректированного коэффициента шума, выполняются автоматически внутри системы.

### Флуктуации

Шум может быть представлен как последовательность случайных событий. В данном случае – электрических импульсов. Цель любого измерения шума состоит в нахождении его среднего значения на выходе устройства. Это значение с соответствующими поправками можно использовать для вычисления фактического коэффициента шума устройства. Теоретически определение истинного среднего значения шума требует бесконечно долгих измерений, на практике оно выполняется в ограниченном интервале времени (см. рис. 8). Разница между измеренным и истинным средним значениями флуктуирует, что приводит к ухудшению повторяемости результатов.

Для малых значений разброса девиация пропорциональна величине  $1/\sqrt{t}$ . Поэтому при большем времени измерения результат будет лучше – при усреднении учитывается большее количество событий, и его результат оказывается ближе к истинному среднему значению. Разброс также пропор-

ционален  $1/\sqrt{B}$ . Более широкая полоса измерения даст лучший результат усреднения, поскольку в широкой полосе содержится больше шумовых событий на единицу времени. Коэффициент шума рекомендуется измерять в максимально широкой полосе, которая, однако, должна быть уже, чем шумовая полоса тестируемого устройства.

### Преобразователи частоты

Преобразователи частоты, такие как приёмники и смесители, обычно разрабатываются для преобразования частоты из высокочастотного (ВЧ) диапазона в диапазон промежуточных частот (ПЧ). Соотношения для коэффициента шума, обсуждаемые в данной статье, применимы как к преобразователям частоты, так и к устройствам без преобразования. Однако у этих устройств есть ряд дополнительных особенностей, которые могут влиять на измерения коэффициента шума. В дополнение к тестируемому устройству, которое само по себе является преобразователем частоты, измерительная система иногда использует смеситель для расширения диапазона частот измерения.

### Потери

Усилители дают свойственное им усиление, тогда как пассивные смесители дают потери. Все уравнения для коэффициента шума к ним применимы, однако линейные значения коэффициента передачи будут меньше еди-

ницы. Одно из связанных с этим осложнений возникает при использовании уравнения коэффициента шума для каскадного включения: шумовой вклад второго каскада может быть основным (см. уравнение 2.2 в первой части статьи). Другое осложнение возникает при использовании метода Y-фактора: пассивные смесители могут иметь малый Y-фактор вследствие высоких коэффициентов шума. Это может увеличить погрешность измерения. Для получения более высокого Y-фактора можно использовать источники шума с высоким ENR.

### Шумы гетеродина

Приёмники и смесители имеют локальный гетеродин (ГЕТ), сигнал которого может содержать шум. Преобразовываясь в смесителе на промежуточную частоту, этот шум может вносить дополнительный вклад в коэффициент шума системы. Величина такого вклада может варьироваться в широких пределах в зависимости от типа смесителя и уровня шумов гетеродина. В системах с фиксированной частотой гетеродина этот шум можно исключить с помощью полосового фильтра, установленного на гетеродинном входе смесителя. Фильтр, подавляющий помехи на частотах  $f_{ГЕТ} \pm f_{ПЧ}$ ,  $f_{ПЧ}$  и  $f_{ВЧ}$  и пропускающий сигнал с частотой  $f_{ГЕТ}$ , исключает этот шум. Могут также возникать помехи более высокого порядка преобразования, вносящие свой вклад, если уровень шумов гетеродина очень высок. Для устранения шумов преобразования на гармониках частоты гетеродина можно использовать фильтр низких частот.

### Просачивание сигнала гетеродина

Остаточный сигнал гетеродина может присутствовать на выходе ПЧ-смесителя или преобразователя. Этот сигнал обычно не имеет отношения к шумовым характеристикам тестируемого устройства и может считаться допустимым для конкретного случая. Когда измеряется коэффициент шума, сигнал гетеродина может перегружать измерительный прибор или создавать другие побочные продукты преобразования. Такое возможно, когда измерительная система имеет на входе широкополосный усилитель или другие не защищённые фильтром цепи. Часто на входе прибора устанавливают фильтр для исключения просачивания сигнала гетеродина.



### Нежелательные отклики

Иногда целевая полоса частот ВЧ-сигнала является не единственной, которая преобразуется в ПЧ. Преобразование нежелательных частотных полос может происходить, если они присутствуют на ВЧ-входе вместе с полезным сигналом. В числе таких нежелательных полос:

- зеркальные частоты ( $f_{\text{ГЕТ}} + f_{\text{ПЧ}}$  или  $f_{\text{ГЕТ}} - f_{\text{ПЧ}}$ , в зависимости от преобразователя);
- гармоники ( $2f_{\text{ГЕТ}} \pm f_{\text{ПЧ}}$ ;  $3f_{\text{ГЕТ}} \pm f_{\text{ПЧ}}$  и так далее);
- побочные составляющие и сигналы прямого прохождения ПЧ (см. рис. 9).

Обычно, особенно в приёмниках, отклики на эти сигналы незначительны благодаря внутренней фильтрации. Но во многих других устройствах, особенно в смесителях, один или более откликов на такие сигналы могут присутствовать и вносить дополнительные помехи в полосу ПЧ.

Смесители, имеющие два основных отклика ( $f_{\text{ГЕТ}} + f_{\text{ПЧ}}$  и  $f_{\text{ГЕТ}} - f_{\text{ПЧ}}$ ), обычно называют двухполосными смесителями. Полоса ( $f_{\text{ГЕТ}} + f_{\text{ПЧ}}$ ) называется верхней боковой полосой (ВБП), а ( $f_{\text{ГЕТ}} - f_{\text{ПЧ}}$ ) – нижней боковой полосой (НБП). Такие смесители преобразуют шум, содержащийся в обеих частотных полосах, в полосу ПЧ. Когда смеситель является частью системы измерения шума, второй отклик будет создавать ошибку в измерении коэффициента шума, если не введена коррекция (обычно +3 дБ). В идеале, для исключения второго отклика нужна фильтрация на ВЧ-входе, чтобы измерения могли выполняться с использованием одной боковой полосы.

### Приборы для измерения коэффициента шума

#### Анализаторы коэффициента шума

Анализаторы коэффициента шума – новейший этап развития технических решений для измерения коэффициента шума. В базовой конфигурации анализатор коэффициента шума состоит из приёмника с точным детектором мощности и схемы для питания источника шума. Он имеет вход для ENR и отображает результат измерения коэффициента шума, соответствующий частоте, на которую настроен. Анализатор вычисляет коэффициент шума, используя метод Y-фактора.

Анализатор отображает на дисплее коэффициент шума и коэффициент

передачи в режиме свипирования частоты сигнала, а также связанные элементы, такие как маркеры и ограничительные линии. Анализаторы коэффициента шума Keysight серии NFA (см. рис. 10) в комбинации с источниками шума серии SNS обеспечивают повышенные точность и скорость измерений, что важно в условиях производства. Анализаторы серии NFA специально разработаны и оптимизированы для конкретной цели – измерения коэффициента шума. У комбинированных приборов, предназначенных для выполнения и других измерений, точность, как правило, ниже.

#### Анализаторы сигналов/спектра

Анализаторы сигналов/спектра часто используются для измерения коэффициента шума, поскольку, как правило, они уже присутствуют в испытательной стойке для ВЧ- и микроволновых устройств различного назначения. При наличии соответствующего программного обеспечения и контроллера, они могут применяться для измерения коэффициента шума любым из вышеперечисленных методов. Эти анализаторы особенно полезны для испытания устройств с высоким коэффициентом шума при использовании метода генератора сигналов или метода непосредственного измерения шума.

Изменяемые полосы пропускания позволяют измерять параметры узкополосных устройств. Приложение для измерения коэффициента шума на анализаторах сигналов серии X (см. рис. 11) обеспечивает измерения коэффициента шума и коэффициента передачи, сопоставимые с таковыми на анализаторе коэффициента шума серии NFA.

#### Анализатор сигналов PXA с программой для измерения коэффициента шума N9069A

Одно из преимуществ анализатора коэффициента шума на базе анализатора сигналов/спектра состоит в его многофункциональности. Он может, например, измерять искажения в усилителе. Кроме того, он может локализовать побочные и паразитные сигналы, а затем измерить коэффициент шума устройства на частотах, где эти сигналы не будут создавать помех.

Анализаторы сигналов/спектра, даже с внутренним предусилителем, не могут находить столь низкие коэффициенты шума, как специализированный прибор NFA. Поэтому для устройств с низ-



Рис. 10. Анализатор коэффициента шума серии NFA



Рис. 11. Анализатор сигналов серии X с источником шума серии SNS

ким коэффициентом передачи (или большими потерями) рекомендуется применять либо NFA, либо дополнительный внешний малошумящий предусилитель, чтобы повысить чувствительность анализатора сигналов. Для частот ниже 10 МГц анализаторы сигналов/спектра предпочтительнее, чем NFA. Анализатор X-серии PXA с прикладной измерительной программой имеет функцию внутренней калибровки (Internal Cal), что существенно повышает удобство работы оператора, избавляя от необходимости полностью проходить этап калибровки. В остальном функциональные характеристики анализатора PXA с программой для измерения коэффициента шума такие же, как у NFA.

#### Анализаторы цепей

Как и анализаторы спектра, анализаторы цепей являются широко распространёнными в индустрии многоцелевыми приборами. Есть приборы, которые предлагают измерение коэффициента шума в дополнение к обычным измерениям параметров цепей. Их преимущество – в возможности измерять и другие характеристики устройств, например, коэффициенты передачи и согласования. Но поскольку измерения параметров цепей обычно выполняются при одной и той же внутренней архитектуре приёмника, в слу-

чае использования их для измерения коэффициента шума могут возникать некоторые ограничения.

Анализаторы цепей могут измерять S-параметры устройства, а данные этих измерений могут помочь уменьшить погрешность измерения коэффициента шума за счёт коррекции рассогласования. В идеальном случае коррекция могла бы обеспечить более точное измерение коэффициента передачи устройства и точнее учесть шумовой вклад второго каскада. На практике измерение шумовых параметров требует, в дополнение к анализатору, использования устройства настройки импеданса и программного обеспечения. Коррекция ошибки в анализаторе цепей в основном является его преимуществом при измерении и вычислении коэффициента передачи.

#### *Установки для измерения шумовых параметров*

Испытательная установка для измерения шумовых параметров устройств обычно применяется совместно с программным обеспечением, векторным анализатором цепей и анализатором шума. Полученные шумовые параметры могут использоваться для вычисления минимального коэффициента шума, оптимального импеданса источника и влияния импеданса источника на коэффициент шума. Установка имеет тюнер импеданса для тестируемого

устройства. Внутренние цепи обеспечивают питание тестируемых полупроводниковых устройств. Источник шума подключается к установке и позволяет измерять коэффициент шума при различных импедансах источника. Импеданс источника измеряется анализатором цепей. На основании этих данных можно получить полный набор шумовых параметров устройства. Как правило, измеряется также полный набор S-параметров, так что параметры передачи устройства также известны.

Поскольку количество выполняемых измерений велико, получение полного набора шумовых параметров устройства проходит намного медленнее, чем в случае обычного измерения коэффициента шума. Однако оно позволяет определить многие полезные параметры конструкции. Для малошумящих транзисторов шумовые параметры обычно указываются в их паспортных данных. В случае компонентов и узлов, которые предполагается использовать в хорошо согласованных 50- или 75-омных системах, шумовые параметры обычно не измеряются, поскольку импеданс источника зависит от прикладной задачи.

#### *Измерители мощности и вольтметры истинного среднеквадратического значения*

Измерители мощности и вольтметры истинного среднеквадратиче-

ского значения могут использоваться как базовые приборы для измерения уровня сигнала, измерения коэффициента шума любым из описанных методов, но с применением дополнительных ручных или компьютерных вычислений. Поскольку эти приборы являются широкополосными устройствами, требуется фильтр для ограничения их полосы, которая должна быть уже, чем у тестируемого устройства. Обычно такие фильтры настраиваются на фиксированную частоту и позволяют проводить измерения только на ней.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 10 Hints for Making Successful Noise Figure Measurements. Application Note 1341. Literature number 5980-0288E.
2. Noise Figure Measurement Accuracy. Application Note 57-1. Literature number 5952-8255.
3. Noise Figure Measurement Accuracy. Application Note 57-2. Literature number 5952-3706.
4. Calculate the Uncertainty of NF Measurements (Software and Web-Based Tool). [www.keysight.com/find/nfu](http://www.keysight.com/find/nfu).
5. User Guides for Keysight Noise Figure Products. [www.keysight.com/find/nf](http://www.keysight.com/find/nf).
6. Component Test. [www.keysight.com/find/component\\_test](http://www.keysight.com/find/component_test).
7. Spectrum analysis. [www.keysight.com/find/psa\\_personalities](http://www.keysight.com/find/psa_personalities). [www.keysight.com/find/esa\\_solutions](http://www.keysight.com/find/esa_solutions).



## Новости мира News of the World Новости мира

### **Система для исследования облика будущей связи 5G**

13 мая 2015 г. в рамках выставки «Связь-Экспокомм 2015» компания Keysight Technologies провела семинар, посвящённый системам беспроводной связи 5G. Несмотря на то, что сейчас стандарта сетей 5G ещё нет, а только наметились общие направления исследований в этой сфере, семинар вызвал огромный интерес у аудитории, количество участников превысило 50 человек.

Поколения систем сотовой связи (стандарты, определяющие работу этих систем) обновляются примерно раз в десять лет. Системы 3G (IMT-2000) работают по всей стране более 10 лет, с 2014 г. идёт активное внедрение систем 4G (IMT-Advanced). Однако потребности в скорости передачи данных растут опережающими темпами, поэтому разработчики в разных странах уже приступили к экспериментам по созданию

нового стандарта для мобильных сетей – 5G (IMT-2020). Россия может стать первой в мире страной, где будет полноценно протестирована сеть 5G: уже объявлено о совместных работах российского оператора мобильной связи по запуску сети 5G к Чемпионату мира по футболу, который пройдёт в России летом 2018 г.

Компания Keysight Technologies представила слушателям семинара свой обширный опыт в создании фундаментальных решений для измерений как на уровне программного обеспечения, так и в области оборудования.

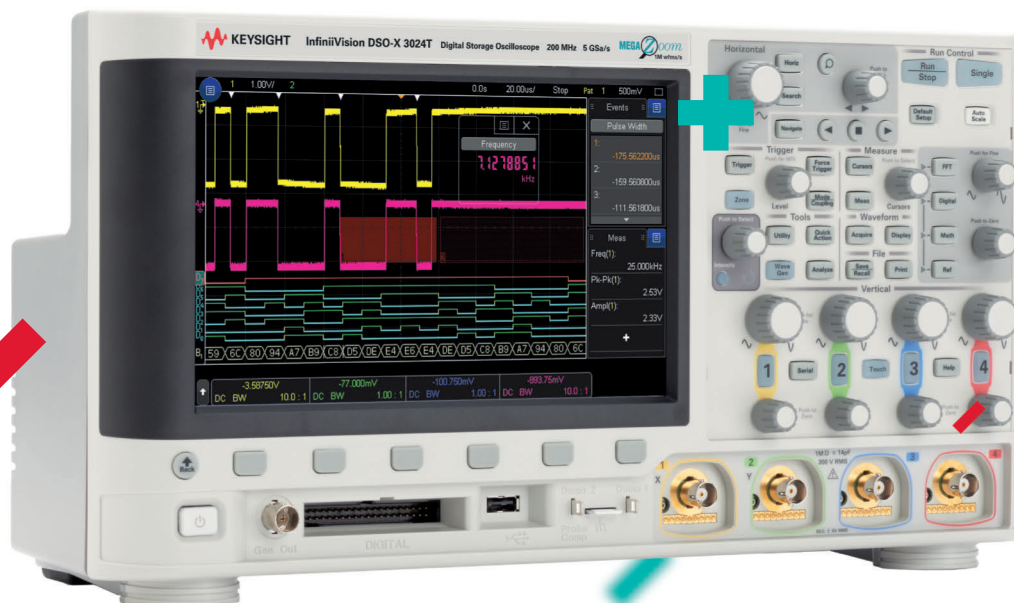
Ключевые технологии, которые будут определять облик систем 5G – это микроэлектронные технологии цифровых интегральных схем, технологии обеспечения энергетической и спектральной эффективности, технологии передачи в миллиметровом диапазоне, волоконно-оптические технологии.

В ходе семинара были представлены решения для измерений параметров каналов мм-диапазона, в том числе – для ММО-систем. Данный измерительный комплекс за счёт программных и аппаратных решений позволяет проводить измерения в реальном времени, получать мгновенные значения сигнала, величины доплеровских сдвигов частот, генерировать разнообразные широкополосные сигналы, псевдослучайные импульсные последовательности. Зная параметры переданного и принятого сигналов, можно очень точно рассчитать импульсный отклик канала – основу для математической модели, на базе которой можно проектировать телекоммуникационные системы и оборудование для сетей 5G. Ещё одно решение в области систем 5G – гибкая тестовая система для исследований не только в миллиметровом диапазоне, но и в полосах ниже 6 ГГц.

**Keysight Technologies**



# ДИПОЛЬ



## Новые осциллографы Keysight Technologies InfiniiVision 3000T серии X

Производительность старших серий осциллографов теперь доступна в сегменте среднего класса!

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

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

Реклама



## Инновационные решения для электронной промышленности

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

# Групповая разработка проектов в OrCAD Engineering Data Management

Анатолий Сергеев (Москва)

Хорошая система управления проектными данными способна значительно повысить эффективность этапа разработки, снизить затраты и сократить сроки. OrCAD Engineering Data Management решает данные задачи благодаря тесной интеграции в схемотехнический редактор OrCAD Capture, удобной общей панели, системе контроля версий, истории, прав доступа и возможности повторного использования удачных проектных решений. Это и многое другое делает OrCAD ещё более привлекательной САПР на российском рынке.

Одним из направлений повышения эффективности разработки электроники является переход к централизованной системе работы над проектами. Координация взаимодействия инженеров на уровне единой среды проектирования потенциально несёт много проблем для целостности обрабаты-

ваемых данных. Прежде всего, это связано с необходимостью ограничивать доступ к редактированию и просмотру общих файлов. Также необходимо обеспечить контроль версий файлов, сортировку, отслеживание изменений и публикацию файлов в едином информационном пространстве. Кроме этого,

требуется вовремя оповещать участников разработки о текущих изменениях в проектах и библиотеках. Отсутствие целостной системы администрирования проектов и библиотек ведёт к потере данных, времени и, как следствие, убыткам на производстве.

Таким образом, есть несколько условий, от которых зависит эффективность взаимодействия между инженерами внутри проектной команды. Одним из них является наличие единой среды проектирования, которая содержит в себе все необходимые инструменты и не требует сложной настройки. Другие важные условия – это возможность отслеживать ход проектирования, выводить статистику по каждому исполнителю, использовать готовые части из предыдущих проектов, контролировать версии и вести историю изменений. Всё это и многое другое реализовано в новой программе OrCAD Engineering Data Management (EDM).

OrCAD EDM является готовым решением для взаимодействия инженеров в рамках схемотехнического редактора OrCAD Capture. OrCAD EDM одинаково хорошо работает как с простыми многостраничными схемами, так и с иерархическими дизайнами. Программа запускается из меню OrCAD Capture (см. рис. 1). Разработчику не требуется покидать привычную для него среду разработки. Вся информация по текущим и закрытым проектам и библиотекам становится доступной на отдельной информационной панели внутри OrCAD Capture.

Информационная панель показывает текущее состояние проектов, состав исполнителей, состояние, дату последнего изменения. По каждому проекту и отдельному его листу можно вывести на экран подробную статистику (см. рис. 2).

Статус ведущего инженера проекта в OrCAD EDM позволяет создавать проект, назначать исполнителей и ограничивать права доступа к их редактированию. Права предоставляются также для отдельных листов и библиотек (см. рис. 3).

Пользователи могут скачивать страницы по мере необходимости, но эту воз-

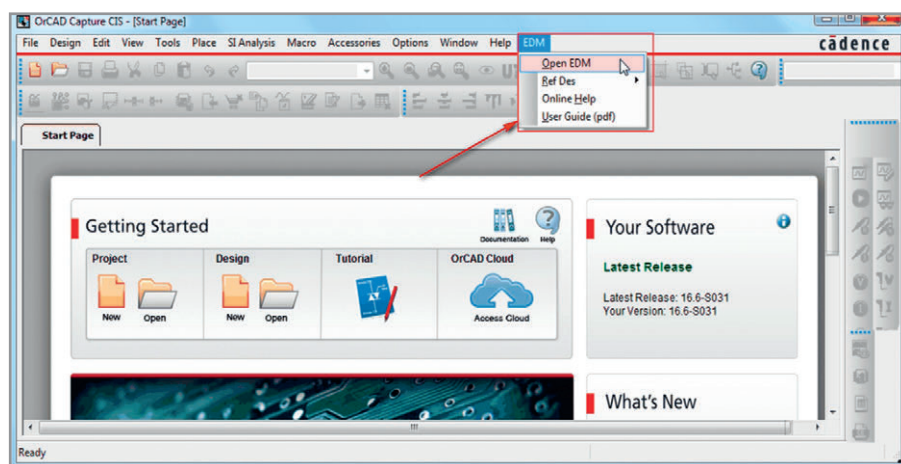


Рис. 1. Запуск OrCAD Engineering Data Management

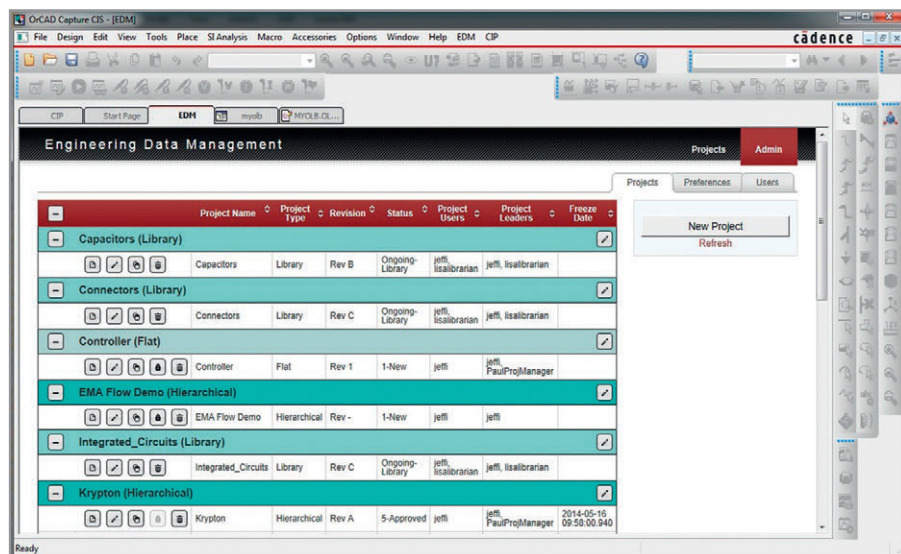


Рис. 2. Общая панель управления



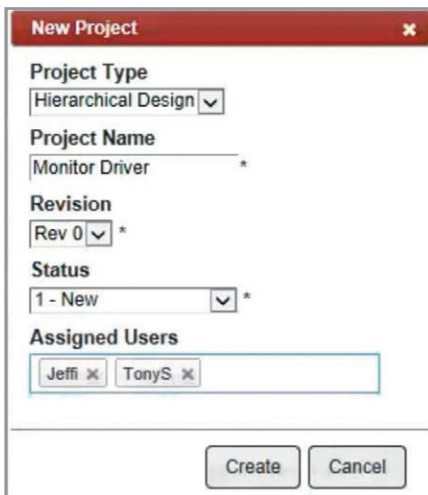


Рис. 3. Окно создания нового проекта и назначения исполнителей

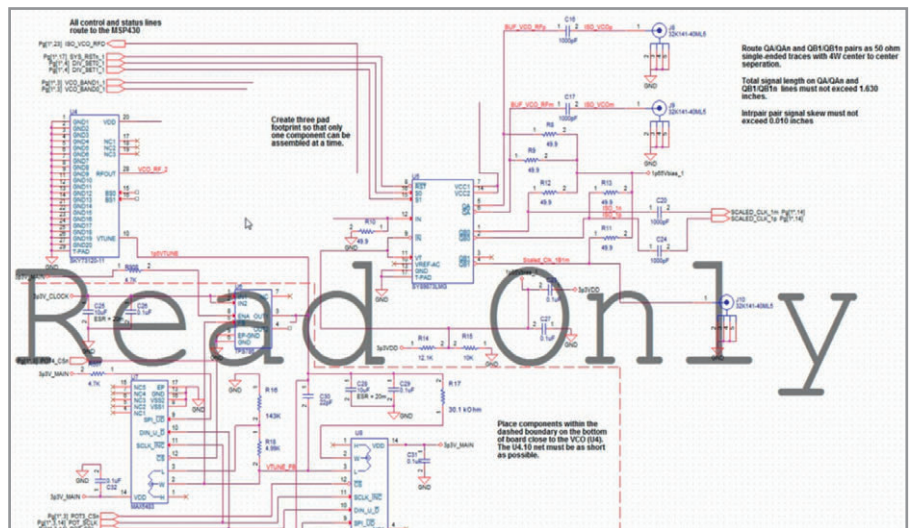


Рис. 4. Блокировка страницы

возможность можно заблокировать. Если страница в данный момент редактируется, то все остальные инженеры имеют к ней доступ только в режиме просмотра. После редактирования автор возвращает страницу в проект, и она становится доступной другим пользователям, а блокировка снимается (см. рис. 4).

Все рабочие проекты хранятся на общем сервере. Соответственно, каж-

дое скачивание, обновление или переименование страниц проекта регистрируется и хранится в истории изменений. По каждому изменению выводится имя автора, причины и суть изменений. В любое время ведущий инженер проекта, его рядовые исполнители и третьи лица с правами доступа могут получить отчет о состоянии проекта (см. рис. 5).

OrCAD EDM позволяет вести историю изменений по каждой странице проекта и осуществлять контроль версий. Через дерево проекта можно легко получить доступ к его различным версиям. Можно сравнить версии проектов и произвести откат на более раннюю версию, если в том есть необходимость. Также это можно сделать для отдельных частей проекта. Когда проект подходит



# 30 лет успеха

Юбилейное предложение для конструкторов печатных плат:

## новая версия OrCAD PCB Designer - от 99 000\* рублей

(экономия от 40 000 до 100 000 рублей)

Передовые технологии  
Поддержка российских стандартов  
Трансляция из P-CAD  
Новые уникальные модули Orcad Capture Marketplace

\*Цена указана без учета НДС и действует до 30 сентября 2015 года

Реклама

cadence®

Техническая поддержка   Обучение   Дизайн-проекты

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

orkada

CADENCE CHANNEL PARTNER

| Date                    | Action                           | Comments        | Status | Get Copy |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------|--------|----------|
| 2013-09-24 16:59:21.097 | Jeff upload and unlock           | Change Res      | New    |          |
| 2013-09-24 16:55:22.117 | Jeff download with lock for edit | Page downloaded | New    |          |
| 2013-09-24 14:22:00.383 | Jeff unlock                      | Page unlocked   | New    |          |
| 2013-09-24 14:20:28.017 | Jeff download with lock for edit | Page downloaded | New    |          |
| 2013-09-24 12:21:15.410 | Jeff upload and unlock           | Deleted R23     | New    |          |

Рис. 5. История изменений

| Project Name                  | Revision | Status           | Status Updated          |
|-------------------------------|----------|------------------|-------------------------|
| NewHierProject (Hierarchical) | Rev -    | New              | 2013-09-27 13:34:40.463 |
| NewProject (Flat)             | Rev -    | Work in Progress | 2013-09-27 13:35:18.060 |
| ProjectA (Hierarchical)       | Rev -    | n                | 2013-09-27 13:35:43.857 |
| ProjectA (Hierarchical)       | Rev 1    | 1                | 2013-09-27 13:35:58.407 |
| ProjectA (Hierarchical)       | Rev 2    | New              | 2013-09-27 13:36:09.957 |
| ProjectB (Flat)               | Rev -    | 1                | 2013-09-27 13:38:24.443 |
| ProjectB (Flat)               | Rev 1    | New              | 2013-09-27 13:38:04.050 |

Рис. 6. Версии проекта

к финальной стадии, создаётся его контрольная версия. OrCAD EDM рассматривает эту версию как один файл, который, кстати, можно защитить от изменений. Если же изменения потребуются, то они будут распространяться на весь проект (см. рис. 6).

OrCAD EDM позволяет контролировать изменения в символах компонен-

тов, хранящихся в библиотеках OrCAD Capture. Это исключает проблемы с поиском и использованием последних версий символов.

OrCAD EDM хранит информацию обо всех активных и архивных проектах. Благодаря этому поиск и повторное использование в новых проектах готовых схемных каскадов из

старых проектов значительно упрощается.

Работа проектной группы в единой среде проектирования снижает риск появления ошибок и ускоряет разработку. OrCAD EDM – это набор инструментов, который упрощает администрирование разработки и хранение данных. Модуль работает непосредственно в среде OrCAD Capture и не требует больших затрат. Администратор проектов может устанавливать права доступа к проектным данным для рядовых инженеров. По каждому проекту ведётся контроль версий и история изменений. Благодаря OrCAD EDM использование готовых наработок в новых проектах значительно упрощается. Данные об изменениях видны на общей информационной панели. Кроме того, на почтовые ящики инженеров приходят письма с уведомлением об изменениях. OrCAD EDM служит для упрощения коллективной разработки, делая её простой и понятной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. User's Guide OrCAD Engineering Data Management 16.6. EMA Design Automation, Inc. July 2014.
2. Datasheet: OrCAD Engineering Data Management. Managing Design Data for the OrCAD Workgroup.



## Новости мира News of the World Новости мира

### Глава Минпромторга посетил завод электронного оборудования в Обнинске

В ходе рабочей поездки в Обнинск министр промышленности и торговли РФ Денис Мантуров посетил завод электронного оборудования одной из крупнейших российских ИТ-компаний Kraftway, на котором ознакомился с уникальной продукцией и возможностями предприятия по реализации программы импортозамещения в области производства средств вычислительной техники и телекоммуникационного оборудования.

В ходе визита на завод глава ведомства ознакомился с последними разработками предприятия в области электронного оборудования, в частности, с перспективными образцами доверенной продукции с интегрированными средствами защиты информации. Министру продемонстрировали инновационную отечественную разработку – планшет, обеспечивающий гарантированную высокую информационную защищённость, который по своим техническим характеристикам не уступает широко известным мировым аналогам.

«Это стратегически важная продукция для национальной безопасности в сфере защиты информации, – пояснил Денис Мантуров. – Уникальность технологии производства Kraftway заключается в том (и это является вкладом в импортозамещение), что они обеспечивают технологии доверенных платформ. Это когда можно использовать процессоры производства наших коллег из-за рубежа, разные комплектующие в устройствах, которые производит Kraftway, но при этом полностью обеспечивается защита информации, которая размещена в компьютере. Это основная изюминка технологий. Она заложена как в технологической, так и в операционной составляющих этих компьютеров».

Кроме того, Kraftway в течение последних 10 лет разрабатывает собственное программное обеспечение (ПО) с повышенным уровнем информационной защищённости для мониторинга и управления инфраструктурой. Это ПО уже успешно эксплуатируется в ряде государственных организаций и со временем сможет повсеместно заме-

нить зарубежные аналоги от HP, IBM и других мировых брендов.

Работа в этом направлении предусмотрена разработанным Минпромторгом планом по импортозамещению в радиоэлектронной промышленности. Согласно этому документу, доля импорта соответствующей продукции к 2020 г. в среднем сократится почти вдвое – с текущих 82% до 44%. Среди основных технологических направлений импортозамещения в радиоэлектронной промышленности предусмотрен выпуск телекоммуникационного оборудования, а также вычислительной техники.

Текущие и перспективные образцы доверенной продукции (материнские платы, планшеты, персональные компьютеры различных модификаций, серверы, маршрутизирующие коммутаторы и так далее) выпускаются компанией на заводе электронного оборудования в Обнинске с высоким уровнем локализации для нужд государственных и коммерческих структур.

**Пресс-служба Минпромторга**





## WIND RIVER

- Операционная система реального времени VxWorks 653 для интегрированной модульной авионики, сертифицируемая по DO-178B/C
- Средства разработки и конфигурирования, соответствующие DO-178B/C и поддерживающие процессы DO-279
- Готовые пакеты сертификационной и квалификационной документации

## БЕЗОПАСНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ — ОСНОВА МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

**LDRA**  
Software Technology

- Инструментарий трассировки требований, анализа и автоматизированного тестирования ПО авионики, сертифицированный по DO-178B/C
- Полуавтоматическая генерация сертификационных документов
- Система поддержки сертификационного процесса DO-178B/C и взаимодействия с аудитором

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИЙ WIND RIVER И LDRA

**ProSoft**<sup>®</sup>

**МОСКВА**  
**С.-ПЕТЕРБУРГ**

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru  
Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru

# Российская электроника: импортозамещение и перспективы развития

22 апреля 2015 г. в Москве состоялась III Ежегодная конференция «Российская электроника: импортозамещение и перспективы развития». Мероприятие организовано газетой «Ведомости» для оценки тенденций развития и инструментов поддержки российской радиоэлектронной отрасли.

В конференции приняли участие более 70 представителей государственных органов, отраслевых союзов, отечественных и зарубежных производителей и ключевых потребителей радиоэлектроники, научных экспертов. С диктофонной расшифровкой данного мероприятия можно ознакомиться в дополнительных материалах к статье на сайте журнала «Современная электроника».

Модератором первой сессии «Точки роста производства и экспорта российской продукции» выступил заместитель генерального директора Российской венчурной компании Евгений Кузнецов. Открыл обсуждение заместитель министра промышленности и торговли РФ Андрей Богинский. По его словам, эксперты ожидают рост российского рынка радиоэлектроники в 3–4 раза в течение следующих 10 лет. Сегодня доля отечественной продукции на российском рынке составляет в среднем 20%. Для выполнения государственной задачи по импортозамещению российские компании радиоэлектронной отрасли должны расти более высокими темпами, чем рынок в целом. Только тогда удастся выйти на показатель 45–50% от объема рынка к 2025 г. С этой целью разработана

Государственная программа импортозамещения для поддержки 9 ключевых направлений, среди которых телекоммуникационное оборудование, вычислительная и медицинская техника, электронное машиностроение и системы интеллектуального управления. Особое внимание будет уделяться целевому использованию государственных субсидий и достижениям компаниями практических полезных результатов.

Тему поддержки компаний радиоэлектронной отрасли развил директор департамента инновационного развития Министерства экономического развития РФ Артём Шадрин. Он рассказал, что «Фонд развития промышленности» предоставляет займы для финансирования проектов на стадии ОКР под 5% годовых на 5–7 лет. При этом поощряется кооперация компаний в формате консорциумов. Министерство экономического развития РФ выделяет субсидии на поддержку малого и среднего предпринимательства и инновационных территориальных кластеров. Средства направляются на создание инжиниринговых и сертификационных центров и пилотных кластеров в регионах. Новым инструментом поддержки может стать технологическая плат-



форма в области электроники, а также отраслевая программа выхода на внешние рынки и корпоративные венчурные фонды.

Заместитель министра связи и массовых коммуникаций РФ Алексей Сковков отметил неравные условия конкуренции отечественных производителей телекоммуникационного оборудования и иностранных поставщиков, на что указывают представители российских компаний. Крупнейшие операторы связи предпочитают решения традиционных зарубежных вендоров, чтобы снять вопросы совместимости нового оборудования и обеспечить надёжность функционирования сети. Поэтому для решения задачи импортозамещения необходимо создавать тестовые площадки, позволяющие смоделировать сеть с любой архитектурой и доказать работоспособность отечественного телекоммуникационного оборудования.

Заместитель премьер-министра Республики Башкортостан Дмитрий Шаонов рассказал о создании кластера радиоэлектронного оборудования и тестовой площадки на примере своего региона. Он подтвердил значимость единой прозрачной методики тестирования телекоммуникационно-



Андрей Безруков





го оборудования, позволяющей отечественным производителям участвовать в тендерах на поставки крупным заказчикам.

Другую позицию по данному вопросу представил старший вице-президент по технической инфраструктуре компании «Ростелеком» Александр Цейтлин. По его мнению, импортозамещение в радиоэлектронике нельзя ставить во главу угла, так как основная задача телекоммуникационной компании – обеспечить качественную связь для потребителей. Отечественные производители должны проходить строгие тестовые испытания оборудования наравне с зарубежными компаниями. Девиз «пусть победит сильнейший» должен мотивировать российских претендентов доводить качество продукции до мирового уровня. Однако поддержка нужна разработчикам и производителям уникального для России оборудования, например, магистрального маршрутизатора, отечественного аналога которого пока нет.

Генеральный директор ФГУП «Гознак» Аркадий Трачук обратил внимание на сегмент российской микроэлектроники, в частности, на смарт-карты. Проблема в том, что ориентация на зарубежные стандарты практически лишает возможности использовать отечественные микросхемы. По словам Аркадия Трачука, единственным перспективным решением для увеличения доли российской микроэлектроники является переход на российские стандарты там, где это возможно. Модератор сессии Евгений Кузнецов, продолжая тему, привёл пример системы Smart City. Стандарты для «умных городов» только формируются и есть возможность учесть интересы отечественных производителей, но в группе разработки документации пока нет ни одного представителя от России.

Дискуссию по импортозамещению в российской электронике продолжил генеральный директор компании «Хомексфарм» Алексей Мартынов. Он предложил, в первую очередь, определиться с тем, что считать импортозамещением в радиоэлектронной промышленности. Далее необходимо обозначить цели, приоритетные секторы и лишь потом – наиболее эффективные виды государственной поддержки и критерии отбора. По мнению Алексея Мартынова, целесообразно поддерживать только российские компании, запустившие полный цикл радиоэлектроники, от производства печатных плат до корпуса, упаковки и реализации продукта. Также необходимо организовать открытую экспертизу проектов по закупке радиоэлектроники, чтобы исключить необоснованные и завышенные требования к оборудованию, которые не позволяют отечественным производителям пробиться на рынок. Государство должно создать условия для продвижения и развития российских компаний на внутреннем рынке до уровня, позволяющего выходить на мировую арену.

Генеральный директор «Центра современной электроники» Иван Покровский оспорил конкурентоспособность модели полного цикла производства в области радиоэлектроники. Для глобализованного рынка больше подходит специализация, и сборочные производства электроники в России могут стать удачным решением для повышения занятости в регионах, при условии снижения пошлин на импортные комплектующие до нуля. Он также отметил, что импортозамещение не должно быть самоцелью. Основная задача – способствовать развитию отечественной промышленности. Поэтому не следует поддерживать неконкурентоспособные производства в электронной отрасли.

Директор по развитию бизнеса в России американской корпорации Jabil Russia Сергей Зорин поделился оценкой перспектив российского рынка электроники. На его взгляд, поддержка локализации иностранных производств может дать большой эффект для экономики, так как в контрактном производстве электроники 3% крупных компаний на рынке собирают 85% выручки. В соответствии с соглашением о вступлении в ВТО, с сентября 2015 г. в России будут отменены таможенные пошлины на электронные компоненты. Это станет хорошим стимулом для иностранных компаний локализовать производство.

Акцентировал внимание на развитии сектора потребительской электроники Андрей Безруков, директор по стратегическому маркетингу холдинга GS Group. Он предложил выделить данное направление среди приоритетов государственной программы наряду с промышленной электроникой и электроникой специального назначения. По мнению спикера, поддержка кооперации производителей разных сегментов электроники создаст возможности для отраслевых прорывов.

В ходе первой сессии с сообщениями также выступили: заместитель генерального директора по стратегическому развитию и реализации государственных программ «Российская электроника» Арсений Брыкин, заместитель генерального директора по маркетингу «НИИМЭ и Микрон» Андрей Голушко, заместитель генерального директора «КНС Групп» Артём Икоев и генеральный директор «Т-платформа» Всеволод Опанасенко.

Во второй части конференции состоялась дискуссия на тему «Конкурентоспособность российской электронной промышленности на мировом рынке – сегодня и завтра». Моде-





ратором сессии выступил директор по стратегическому маркетингу GS Group Андрей Безруков. Участники обсуждения обратили внимание на то, что при вступлении России в ВТО обнуляются пошлины не только на электронные компоненты, но и сохраняется нулевая ставка на ввоз готовой радиоэлектронной продукции, что не отвечает интересам развития отечественной отрасли. Государству необходимо добиваться благоприятных условий для национального рынка. Примером может служить Бразилия, где пошлины на ввоз радиоэлектронной аппаратуры достигают 40%.

Выбирая стратегию развития отрасли, нужно учитывать, что следование тенденции нишевой специализации отечественных компаний будет означать консервацию и стагнацию. Выходом может стать только увеличение доли российской электронной промышленности на мировом рынке за счёт встраивания в глобальные цепочки поставок и технологического лидерства с прицельной фокусировкой. Участники дискуссии высказали предложение совместными усилиями разработать отраслевую стратегию развития

и передать её на рассмотрение государственным ведомством.

Эффективными механизмами поддержки, по мнению спикеров, могут стать налоговые льготы для отечественных компаний, работа с государственными заказчиками по предоплате и снятие бюрократических барьеров при экспортных поставках. Полезно изучить опыт Китая, поддерживающего экспансию компаний на внешние рынки возвратом половины экспортной выручки в национальной валюте.

В области микроэлектроники необходимо создавать Центры технологических компетенций. Учитывая длительный цикл производства, успешными на рынке могут быть только те разработки в микроэлектронике, которые опережают текущий технологический уровень на 3–8 лет. В сфере программного обеспечения следует использовать возможности международных консорциумов и открытых программных компонентов. Для поддержки экспорта электронного машиностроения нужна Ассоциация производителей, которая позволит лоббировать интересы отечественных компаний.

Директор по стратегическому маркетингу GS Group Андрей Безруков объявил о запуске стратегической инициативы – создании Отраслевого отделения по вопросам развития электронной промышленности на базе общероссийской общественной организации «Деловая Россия». Ожидается, что объединение станет эффективным аналитическим центром федерального масштаба для разработки экспертных предложений по развитию отрасли и формированию цепочек кооперации российских компаний.

В дискуссии принимали участие: генеральный директор компании «Научное и технологическое оборудование» Алексей Алексеев, первый заместитель директора ГНЦ РФ НПК «Технологический центр» Александр Басаев, генеральный директор НТ-МДТ Виктор Быков, руководитель проектов в области микроэлектроники IBM в Восточной Европе и Азии Андрей Галицкий, заместитель генерального директора КНС Групп Артём Икоев, руководитель направления разработки и производства медицинского оборудования Объединённой приборостроительной корпорации Александр Кулиш, генеральный директор, основатель компании и председатель правления «Т-платформы» Всеволод Опанасенко, генеральный директор Информационно-аналитического центра современной электроники Иван Покровский, генеральный директор ITFY Леонид Сватков, генеральный директор «Т8» Владимир Трещиков, директор департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ Сергей Хохлов.

Конференция завершилась на позитивной волне уверенности в потенциале развития российской электронной отрасли и возможности преодоления трудностей совместными усилиями. Объединение на одной площадке представителей самых разных заинтересованных сторон способствовало открытому обмену мнениями, острой дискуссии и выработке конкретных значимых предложений по поддержке отечественных производителей радиоэлектронной отрасли и российской промышленности в целом. Хочется надеяться, что результаты конференции получат реальное отражение в решениях государственных органов и отраслевых объединений.

*Материал подготовила  
Наталья Пискунова*



# Международная специализированная выставка



Реклама

## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

**15-17 сентября 2015 года**

МВЦ «Крокус Экспо»

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

Организатор:

 **КРОКУС ЭКСПО**  
Международный выставочный центр

Дирекция выставки:

Тел: +7 (495) 727-25-82

E-mail: [fonkac@crocus-off.ru](mailto:fonkac@crocus-off.ru)

[www.imzam-expo.ru](http://www.imzam-expo.ru)

12+  
реклама



# «Связь-Экспокомм-2015» и Первый Большой Медиа-Коммуникационный Форум

С 12 по 15 мая 2015 г. в ЦВК «Экспоцентр» прошла 27-я международная выставка «Связь-Экспокомм-2015», ставшая крупнейшим в России, СНГ и Восточной Европе событием в сфере телекоммуникаций, информационных технологий и услуг связи.

Организатором выставки «Связь-Экспокомм-2015» выступил Экспоцентр совместно с компанией «И. Джей. Краузе энд Ассоузиэйтс, Инк.» при поддержке Министерства связи и массовых коммуникаций РФ, Министерства промышленности и торговли РФ и Федерального агентства связи (Россвязь), под патронатом Торгово-промышленной палаты России и Правительства Москвы.

Экспозиция выставки разместилась на площади 7823 м². Её тематический охват включал:

- телекоммуникационные технологии и сети;
- информационную инфраструктуру;
- услуги сервис-провайдеров и операторов связи;
- информационные системы, программные продукты и сервисы;
- системы информационной безопасности;
- пользовательские устройства;
- контент, медиа, развлечения.

Благодаря новому формату мероприятия – объединению выставки и Большого Медиа-Коммуникационного Форума – в этом году традиционно популярный проект «Связь-Экспокомм» привлёк небывалое количество про-

фессионалов, включая руководителей отраслевых компаний и предприятий. За четыре дня работы выставку посетили около 43 000 специалистов.

На официальном открытии выставки «Связь-Экспокомм-2015» и Большого Медиа-Коммуникационного Форума, ставшего ключевым мероприятием деловой программы, министр связи и массовых коммуникаций России Николай Никифоров отметил, что Россия занимает всё более высокие позиции в мировых рейтингах. По его словам, это является результатом пристального внимания к развитию инфраструктуры связи в стране, что было бы невозможно без конструктивного диалога государства и представителей отрасли.

В церемонии открытия также приняли участие заместитель председателя Государственной Думы РФ, председатель Оргкомитета выставки «Связь-Экспокомм-2015» Сергей Железняк, руководитель Федерального агентства связи Олег Духовницкий, заместитель председателя Комитета Совета Федерации РФ по конституционному законодательству и государственному строительству Людмила Бокова, статс-секретарь – заместитель председателя

Банка России Александр Торшин, вице-президент ТПП РФ Александр Рыбаков, директор РАЭК Сергей Плутотаренко.

Во время своего выступления генеральный директор ЗАО «Экспоцентр» Сергей Беднов подчеркнул, что впервые в таком масштабе удалось соединить в рамках «Связь-Экспокомм-2015» деловую и выставочную части. Объединение выставки и форума позволило создать новую конгрессно-выставочную площадку, которая, по мнению профессионального сообщества, призвана стать главным проектом российской отрасли связи и телекоммуникаций.

Участниками «Связь-Экспокомм-2015» стали 363 компании из 20 стран. С национальными экспозициями выступили компании Индии и Китая, коллективный стенд организовали представители Тайваня.

Официальным партнёром «Связь-Экспокомм-2015» выступила компания SwitchRay – ведущий международный разработчик IP-решений для построения, развития и защиты сетей связи. Спонсором выставки стала компания FiberHome Technologies – лидер оптической связи Китая.

Активное участие в выставке принял Совет по содействию экспорту оборудования в телекоммуникационном секторе Индии. Его участие в выставке было представлено 11 индийскими телекоммуникационными компаниями.

Свои новинки продемонстрировали известные зарубежные компании, такие как ABB, Rohde&Schwarz, Nec,





Keysight Technologies, Exide, TP-Link, Fiberhome Technologies, Raisecom, Delta Electronics Inc., Corning. Были и дебютанты смотра – Ilisintech, 3CX, Coats и другие.

Но, прежде всего, «Связь-Экспокомм-2015» стала главной демонстрационной площадкой для российских разработчиков и производителей. Россию на выставке представляли 196 отечественных компаний и предприятий. В их числе: ОАО «Натекс», НПК «Микротек», ЗАО «Концепт Технологии», Группа Компаний «Информтехника», Международная Организация Космической Связи «Интерспутник», ОАО «Газпром Космические Системы». Среди новых участников – ОАО «Псковский завод автоматических телефонных станций», ООО «Фактор-ТС», ЗАО «Линтех», ЗАО «Будифон ЛТД», ООО «Изипласт», ООО «Стрела» и другие.

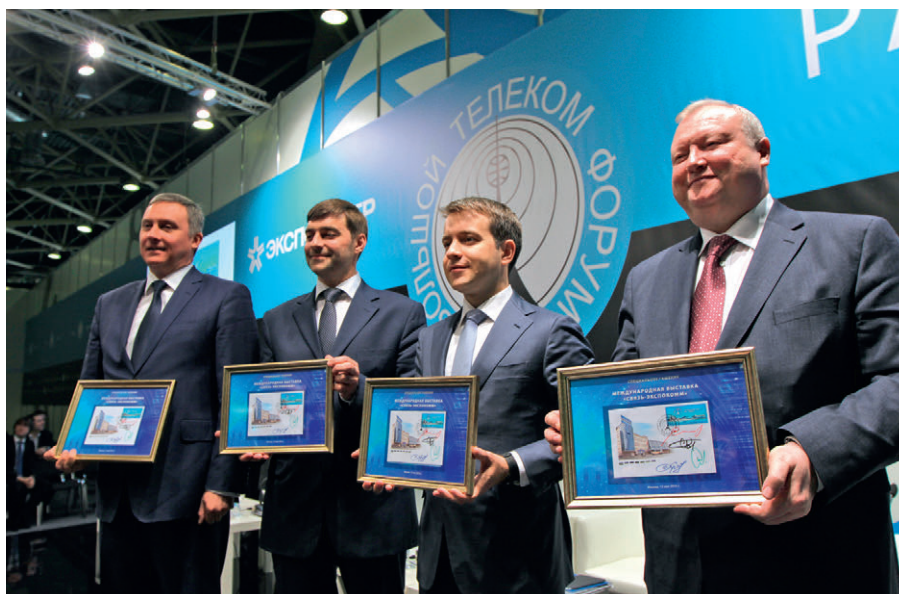
Отдельным стендом на выставке был представлен инновационный центр «Сколково», экспозиция которого включала разработки и готовую продукцию 12 компаний, входящих в три кластера центра: космических технологий и телекоммуникаций, информационных технологий и ядерных технологий. Если в прошлом году большинство проектов находились в стадии ранних прототипов и их разработчики участвовали в выставке, чтобы понять запросы рынка и получить предварительные отзывы, то теперь многие участники показывают решения, готовые к внедрению.

Успехи и проблемы телекоммуникационной отрасли, её новейшие достижения и разработки эксперты обсудили в ходе бизнес-мероприятий Первого Большого Медиа-Коммуникационного Форума, организованного Экспоцентром и Ассоциацией электронных коммуникаций (НП «РАЭК»).

Одной из центральных тем Форума стало импортозамещение. Перспективы развития нормативных документов, определяющих меры поддержки отечественного программного обеспечения, обсуждались на круглом столе «Импортозамещение в софтверной сфере».

В дискуссиях приняли участие председатель Комитета Госдумы по информационной политике, информационным технологиям и связи Леонид Левин, заместитель председателя Комитета Совета Федерации по конституционному законодательству и государственному строительству Людмила Бокова.

Заместитель министра связи и массовых коммуникаций Алексей Волин



провёл сессию, посвящённую итогам обсуждения возможности введения «Глобальной лицензии в Интернете».

Параллельно прошла экспертная дискуссия на другом круглом столе, который был посвящён первым результатам импортозамещения в России в сфере телекоммуникаций, роли государства и бизнеса в этом процессе, а также вопросам национальной безопасности.

В рамках форума состоялась конференция, на которой обсуждалось будущее веб-индустрии. В ней приняли участие представители агентства AGIMA, Paper Planes Consulting Agency, «Российской газеты» и других компаний. Их выступления были посвящены самым актуальным тенденциям веб-дизайна, работе в удалённом доступе, онлайн-обучению, мировым интернет-технологиям.

Также была организована конференция, посвящённая российским мобильным технологиям для бизнеса. Её участники рассказали об успешных мобильных приложениях, рассмотрели проблемы взаимоотношений заказчика и разработчика мобильных технологий, рассказали, как можно зарабатывать на мобильном контенте.

Параллельно на форуме прошла сессия «Отечественный софт», на которой были представлены российские программные решения для коммуникационной отрасли, и сессия «Транспортные технологии для операторов связи».

Выступающие презентовали специалистам отрасли новые разработки отечественных компаний «Мивар», «Апрентис», Центра прикладных исследований

компьютерных сетей и Группы компаний DZ Systems.

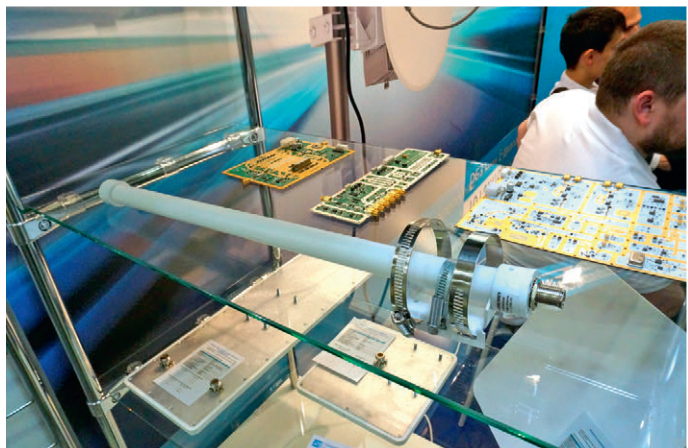
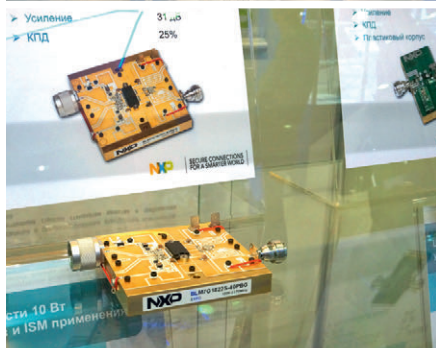
В рамках выставки состоялось расширенное совещание Федерального агентства связи по итогам 2014 г. под руководством Олега Духовниченко.

В совещании приняли участие министр связи и массовых коммуникаций РФ Николай Никифоров, заместитель председателя Госдумы Сергей Железняк, начальник Управления Президента по применению информационных технологий и развитию электронной демократии Андрей Липов, а также другие официальные лица и ведущие эксперты.

Одним из серьёзнейших и значимых событий 2014 г. глава Россвязи назвал подписание и начало реализации десятилетнего договора с ОАО «Ростелеком» об уникальном по своим параметрам проекте по «устранению цифрового неравенства». Он подчеркнул, что к 2024 г. более 5 млн россиян дополнительно получат возможность пользоваться высокоскоростным широкополосным доступом в Интернет и получать высококачественные сопутствующие услуги.

На совещании также обсуждались основные задачи на 2015 г. В приветственном послании к участникам совещания заместитель председателя Правительства РФ Аркадий Дворкович к таким задачам отнёс принятие Россвязью «всех мер по реализации программы восполнения и развития российской государственной орбитальной спутниковой группировки связи и вещания гражданского назначения». Вице-премьер также отметил, что перед Федеральным агентством связи сто-





ят обширные задачи «модернизации сетей электросвязи и проводной связи на территории Крымского федерального округа».

В рамках совещания состоялась панельная дискуссия по теме: «Стратегия эффективного управления и импортозамещения в новых экономических условиях в отрасли ИКТ». Эксперты обсудили факторы, влияющие на развитие отрасли информационно-коммуникационных технологий в современных условиях, стратегии и модели управления предприятиями и госимуществом, подготовку кадров и повышение квалификации в условиях экономической нестабильности, а также другие актуальные вопросы.

В ходе панельной дискуссии обсуждались перспективы развития дата-центров. Кроме того, был затронут вопрос конкурентоспособности отечественных разработок для ЦОД. По мнению производителей оборудования, российские ИТ-компании в настоящее время отдают предпочтение зарубежным технологиям, несмотря на то, что отечественные разработки по качеству, надёжности и другим параметрам отвечают мировому уровню.

В рамках деловой программы 27-й международной выставки «Связь-Экспокомм-2015» Международная общественная академия связи (МАС) провела XIX Международный форум «Инфокоммуникации устойчивого развития».

Традиционно на Форуме обсуждались проблемы развития цифрового телевидения, сетей 5G, магистральных кабельных линий и сетей.

Комплекс вопросов, связанных с проблемами телеком-операторов, переходом к сетям нового поколения, обсуждался в ходе работы круглого стола «Создание цифровых коммуникаций в интересах устойчивого развития государства, общества, личности в мире и в Российской Федерации». Большое внимание было уделено импортозамещению. Темой обсуждения стала необходимость кардинального расширения поддержки отраслевой отечественной науки и отечественных разработок в условиях актуализации вопросов импортозамещения.

Следующая 28-я международная выставка «Связь-2016» пройдёт с 26 по 29 апреля 2016 г. в ЦВК «Экспоцентр».

[www.sviaz-expocomm.ru](http://www.sviaz-expocomm.ru)



# interlight

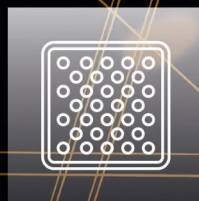
MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного  
и технического освещения, электротехники  
и автоматизации зданий

10–13 ноября 2015

ЦВК «Экспоцентр», Москва



messe frankfurt



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)

Реклама



0+

ufi  
Approved  
Event

# ЭНЕРГИЯ ВАШЕГО РАЗВИТИЯ

Реклама

**12-я Международная выставка  
компонентов и систем  
силовой электроники**

## СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**POWER  
ELECTRONICS**

**27–29 октября 2015**

МЕСТО  
ПРОВЕДЕНИЯ | **МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО**

Организаторы:



Тел.: +7 (812) 380 6003/ 07  
E-mail: [power@primexpo.ru](mailto:power@primexpo.ru)

Забронируйте стенд

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





**Доломант** Высокие технологии на службе Отечеству

# ПРИГЛАШАЕМ НА ВИРТУАЛЬНУЮ ЭКСКУРСИЮ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ДОЛОМАНТ

WWW.**FACTORY**.DOLOMANT.RU



## ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ ВЫСШЕЙ КАТЕГОРИИ НАДЁЖНОСТИ

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

Реклама

☎ (495) 739-07-75

✉ product@dolomant.ru

🌐 www.dolomant.ru

# Не удовлетворены скоростью разработки устройств в стандарте PAM-4 ?

Мы предлагаем вам весь необходимый инструментарий для серьезного технологического рывка вперед.

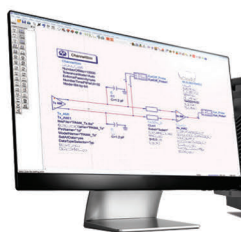
Каждый день, каждый месяц, из года в год растут потребности во все более высокой пропускной способности линий передачи данных, а узкие места появляются повсеместно. Решение? Попробуйте внедрить стандарт PAM-4. Если у вас есть технические задачи, связанные с PAM-4 или Ethernet, мы поможем! Компания Keysight является лидером в разработке и производстве контрольно-измерительных решений для цифрового анализа, а также решений для полного цикла моделирования и разработки устройств PAM-4.

## **HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = PAM-4 INSIGHTS**

Решения для разработки и тестирования устройств PAM-4 на соответствие стандарту

САПР ADS для корреляции результатов моделирования и измерений

Более 4000 измерительных решений



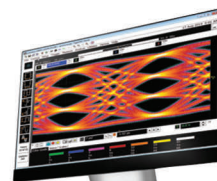
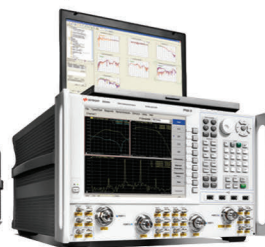
САПР Keysight ADS для анализа целостности сигнала  
Корреляция результатов моделирования и измерений для испытаний на соответствие Ethernet PAM-4 и NRZ с помощью специального решения Ethernet Compliance Test Bench

Осциллографы Keysight Infiniium Z-серии  
Решения для тестирования на соответствие существующим и зарождающимся стандартам PAM-4/Ethernet



Широкополосный осциллограф Keysight Infiniium серии DCA-X  
Решения для тестирования на соответствие зарождающимся оптическим и электрическим стандартам PAM-4/Ethernet

СВЧ-анализатор цепей N5245A серии PNA-X с ПО для тестирования физического уровня N1930B  
Измерительные решения для тестирования гигабитных Ethernet-каналов передачи данных



Высокопроизводительный BERT-тестер Keysight M8020A  
Наиболее интегрированное решение для тестирования 100G Ethernet



Генератор сигналов произвольной формы Keysight M8195A, 65 Гбит/с  
Функционально-гибкое решение для генерации потоков PAM-4 для 400G Ethernet

Загрузите наши материалы по тестированию PAM-4 по ссылке [www.keysight.com/find/PAM-4-insight](http://www.keysight.com/find/PAM-4-insight)

8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

© Keysight Technologies, Inc. 2015



**KEYSIGHT**  
TECHNOLOGIES

Unlocking Measurement Insights

Реклама