

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

5

2018

ОЖИДАНИЯ РАБОТОДАТЕЛЯ И РЕАЛЬНОСТЬ

ОБ АТТЕСТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭКБ

ОТЛАДКА АВТОМОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ
ETHERNET

УПРОЩЕНИЕ СЛОЖНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ SMU

СИНТЕЗ АНТЕНН МИМО ДЛЯ
КОМПАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

и многое другое

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ



App Store



Google Play



ОДНА ПЛАТФОРМА, БЕЗ ПРЕГРАД.

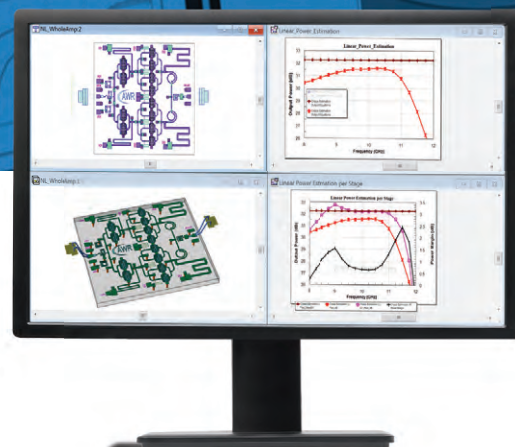
Простота гениальна

NI AWR DESIGN ENVIRONMENT

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



Более подробно см. на awr.com/ru



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

МОЩНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОНИКИ

Mentor®

A Siemens Business

PADS Standard Plus

PADS Standard

PADS Professional

PADS HyperLynx DRC

ОПЦИИ:

- HyperLynx DC Drop – анализ падения напряжения в цепях питания
- Rigid-Flex Design – проектирование гибко-жестких печатных плат
- RF Design – проектирование ВЧ плат
- HyperLynx DDR – анализ топологии DDRx-интерфейсов
- Multi-Trace High-speed (HSD) Routing/Tuning – быстрая трассировка/тюнинг высокоскоростных цепей и шин
- FloTHERM XT – анализ теплопередачи
- DFMA – поиск технологических ошибок до начала производства
- FPGA-PCB Co-Design – параллельная разработка ПЛИС и печатной платы

<http://www.cad-expert.ru/promo-mentor>

+7 (495) 645-8626, доб. 1138

pads@cad-expert.ru

Промокод: Padssoel2018

NANOSOFT
DISTRIBUTION

THE ISSUE PERSON

4 Inertial MEMS Sensors Manufactured by JSC GYROOPTICA

Alexander Bekmachev, Natalia Popova

MARKET

8 Russian Market News

12 The Expectations of the Employer do not Always Coincide with Reality. Experts Told what Kind of Personnel Required for Russian Electronics

ROBOTICS

16 Basics of Probabilistic SLAM in Robotics

Andrey Antonov

MODERN TECHNOLOGIES

22 Design and Technology Features of Power MOSFETs for Space Electronics

Vladimir Kotov, Vladimir Tokarev

28 Open-Frame Metallization of Ceramic Substrates. Part 1

Yuriy Nepochatov

TOOLING AND EQUIPMENT

32 About Programs and Techniques of Certification of the Test Equipment Development

Evgeniy Nikolaev, Mikhail Ragozin

38 Technological Equipment for Incoming Inspection of Electronic Components

Denis Royev, Sergey Byzov

DEVICES AND SYSTEMS

42 Automotive Ethernet Debugging

Ernst Flemming

46 The Smart Way to Test the Onboard Charger for HEV/EV

Giacomo Tuveri

50 Simplifying Complex Measurements with a Source Measure Unit

Tom Ohlsen

DESIGN AND SIMULATION

54 Analog-to-Digital Converters with Decreasing Frequency. Part 2

Viktor Alexeev

60 Synthesizing MIMO Antennas for Compact Devices with AntSyn

64 Interactive Routing in Altium Designer. Part 3. Rules and Editing

Alexey Yakubenko

70 BoardAssistant – a Universal Document Creation Tool in the Altium Designer Environment

Vadim Ivanov, Ilya Levin

74 Efficient Management of Project Data on Printed Circuit Boards Based on PADS and Teamcenter

Alexander Evgrafov

76 Working in JTAG Maps for Altium Designer

Alexey Ivanov

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор А.А. Смирнов

Заместитель главного редактора Д.А. Карлов

Редакционная коллегия А.Е. Балакирев, В.К. Жданкин,

С.А. Сорокин, А.Н. Туркин, Р.Х. Хакимов

Литературный редактор/корректор О.И. Семёнова

Верстка А.М. Бабийчук

Обложка Д.В. Юсим

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

Реклама И.Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К.В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

ул. Чертановская, д. 50, корп. 1, г. Москва, 117534

Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26

Тел.: (495) 232-0087 • Факс: (495) 232-1653

info@soel.ru • www.soel.ru

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз. Цена свободная

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 г.) Свидетельство № 00271-000 о внесении в Реестр надёжных партнёров ТПП РФ

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19, бизнес-центр Вэлдан

Тел./факс: (499) 903-6952

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели. Ответственность за содержание статей несут авторы. Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются. Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов. Все упомянутые в публикациях журнала наименования продукции и товарные знаки являются собственностью соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2018

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

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

ПОДПИСКА 2018

Концепция распространения журнала – **БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ.**

Предусмотрена подписка на печатную или электронную версию журнала. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление каждый год.

ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ
Преимущества:

- гарантированная доставка журнала, тогда как при бесплатной подписке редакция гарантирует только отправку, но не доставку журнала;
- подписка доступна любому желающему по всему миру.

ОФОРМЛЕНИЕ ПЛАТНОЙ ПОДПИСКИ

В любом почтовом отделении России, подписное агентство «Роспечать»:
Тел.: (495) 921-2550. Факс: (495) 785-1470
Индексы на полугодие – 46459, на год – 36280.

Подписное агентство «Урал-Пресс»:

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

Дальнее зарубежье: «МК-Периодика» • info@periodicals.ru

Тел.: +7 (495) 672-7012 • Факс: +7 (495) 306-3757

СОДЕРЖАНИЕ 5/2018

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

AdvanteX	11
AVD Systems	9, 10
CRANE	73
EREMEX (Delta Design)	63
EUROTECH	45
Fastwel	53
Glavkon	71
JTAG	77
Itemax	8, 9
Mentor	79
MPS.	37
National Instruments.	2-я стр. обл.
ProChip	36
Raystar Optronics	10, 11
Swissbit	31
TDK-Lambda	41
Wolfspeed.	58
АРБЕЛОС	15
ДОЛОМАНТ.	59
МИКРАН	8, 80
НАНОСОФТ (Mentor®)	1, 10
ПЛАНАР	8
Радиоавтоматика	39
Роде и Шварц	4-я стр. обл.
ТЕСТПРИБОР	33
Фаворит-ЭК	5

ПЕРСОНА НОМЕРА

- 4** Инерциальные МЭМС-датчики производства АО «ГИРООПТИКА»
Александр Бекмачев, Наталия Попова



РЫНОК

- 8** Новости российского рынка
- 12** Ожидания работодателя не всегда совпадают с реальностью. Эксперты рассказали, какие кадры необходимы российской электронике

РОБОТОТЕХНИКА

- 16** Основы вероятностного метода SLAM в робототехнике
Андрей Антонов

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 22** Особенности конструкции и изготовления силовых МОП-транзисторов для космической электроники
Владимир Котов, Владимир Токарев
- 28** Бестрафаретная металлизация керамических подложек. Часть 1
Юрий Непочатов

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 32** О разработке программ и методик аттестации испытательного оборудования
Евгений Николаев, Михаил Рагозин
- 38** Технологическая оснастка для проведения входного контроля ЭКБ
Денис Роев, Сергей Бызов

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 42** Комплексный анализ для быстрой отладки автомобильных сетей Ethernet
Эрнст Флемминг
- 46** Эффективный метод испытаний бортового зарядного устройства для электромобиля
Джакомо Тувери
- 50** Упрощение сложных измерений с помощью источника-измерителя (SMU)
Том Ольсен

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 54** Аналого-цифровые преобразователи с понижением частоты. Часть 2
Виктор Алексеев
- 60** Синтез антенн ММО для компактных устройств в AntSyn
- 64** Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 3. Правила и редактирование
Алексей Якубенко
- 70** BoardAssistant – универсальный инструмент формирования документации в среде Altium Designer
Вадим Иванов, Илья Левин
- 74** Эффективное управление проектными данными о печатных платах на базе PADS и Teamcenter
Александр Евграфов
- 76** Работа в JTAG Maps для Altium Designer
Алексей Иванов



Инерциальные МЭМС-датчики производства АО «ГИРООПТИКА»

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru),
Наталья Попова (pop_na@gyro.ru)

На предприятии АО «ГИРООПТИКА» освоен полный цикл производства микросистемных (МЭМС) чувствительных элементов для изготовления преобразователей линейного ускорения (акселерометров) и угловой скорости (гироскопов). На базе преобразователей разрабатываются и собираются инерциальные измерительные модули, которые, в зависимости от конечного назначения, могут быть комплексированы с приёмниками сигналов спутниковых навигационных систем.

АО «ГИРООПТИКА» ознаменовало своё 26-летие созданием замкнутого конструкторско-технологического комплекса по разработке и производству микросистемной техники. Это одно из ведущих отечественных предприятий, чьи компетенции сосредоточены в области разработки и производства МЭМС-преобразователей линейного ускорения и угловой скорости, инерциальных измерительных приборов и навигационных систем.

Выборный в 1997 г. вектор развития компании подразумевал под собой отказ от аутсорсинга и интеграцию основных технологических операций внутри предприятия. Ключом к успеху стало сочетание научной, проектно-конструкторской и производственной деятельности в творческом коллективе. 25% сотрудников предприятия имеют кандидатские или докторские степени в области технических наук. На счету АО «ГИРООПТИКА» более 150 научно-технических публикаций в отраслевых

журналах. Показателем продуктивности выбранного подхода служит и весомый объём технологических и инженерных решений компании, защищённых патентами РФ.

К 2014 году за счёт освоения ключевых компетенций на единой научно-производственной площадке в г. Санкт-Петербурге компанией была реализована концепция производства „in-house production“. Совершив ряд технологических прорывов, АО «ГИРООПТИКА» продолжает совершенствовать процессы и наращивает на собственном производстве количество операций, аналогов которым нет в России.

Тенденции развития современных МЭМС-систем целиком соответствуют концепции „More Than Moore“, когда потребность в уменьшении размеров одновременно требует и расширения их интеллектуальных функций. В 2017 г. были выпущены первые МЭМС-системы, предназначенные для эксплуатации в малогабаритных устройствах.

За счёт изменения процесса монтажа составных частей габаритные размеры были снижены на 10% по сравнению с выпускавшимися ранее. Излишне говорить, что таким образом было достигнуто не формальное, а подлинное импортозамещение в наиболее чувствительных областях отечественной техники.

История миниатюризации инерциальных измерительных и навигационных модулей АО «ГИРООПТИКА» проиллюстрирована на рисунке 1. Приведённые данные отражают состояние изделий для жёстких условий эксплуатации, имеющих механически прочные корпуса. Самый миниатюрный блок, предлагаемый сегодня компанией, весит не более 50 г и по своему объёму не превышает 37 см³. Встраиваемые OEM-блоки имеют ещё более компактные размеры и меньший вес.

В соответствии с планом развития АО «ГИРООПТИКА» системно наращивает продуктовый портфель с целью расширения присутствия на перспективных рынках. Ряд измерительных блоков и навигационных систем был адаптирован или разработан заново для применения в беспилотных летательных и наземных аппаратах, на коммерческом автомобильном и железнодорожном транспорте, в дефектоскопах, в буровых машинах и в робототехнике.

Краткое описание назначения модулей, характеристики которых приведены в таблице 1:

- БИЧЭ (блок инерциальных чувствительных элементов) – миниатюрное решение для определения линейных ускорений и угловых скоростей объекта для дальнейшего вычисления его положения в пространстве и стабилизации в системах более высокой интеграции;
- гировертикаль – решение для определения направления истинной вертикали места или плоскости горизонта, а также измерения углов наклона (крена и тангажа) объекта относительно этой плоскости;
- курсовертикаль – мобильное решение, которое позволяет, помимо углов наклона (крена и тангажа), измерять курс объекта;

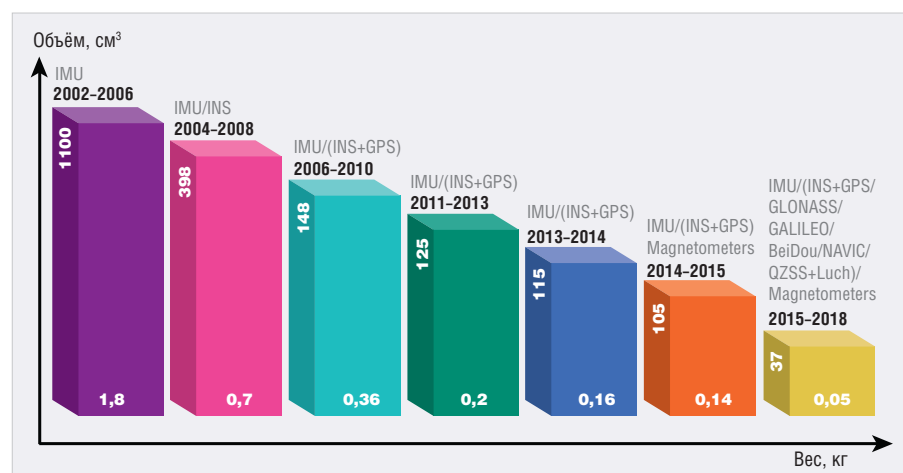


Рис. 1. Динамика миниатюризации инерциальных измерительных и навигационных модулей АО «ГИРООПТИКА» за период 2002–2018 гг.

- БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) – система для решения сложных задач навигации, ориентации и стабилизации подвижных объектов. Обеспечивает непрерывную выработку информации о курсе, координатах, скорости движения и параметрах угловой ориентации объекта. Возможно комплексование со спутниковой навигационной системой (СНС) и магнетометрическими преобразователями по тесно связанному алгоритму.

Конструктивной особенностью рассматриваемых изделий является применение в преобразователях капсулированных микромеханических чувствительных элементов в сочетании со специализированной сверхбольшой интегральной схемой (СБИС СнК) многофункционального назначения, обрабатывающей цифровую и аналоговую информацию в одном кристалле. Благодаря применению нанотехнологий при формировании слоёв газопоглотителей, технологий травления и анодной сварки пластин стекло-кремний–стекло, капсулированные микромеханические чувствительные

Таблица 1. Комбинации характеристик специализированных инерциальных и навигационных модулей для различных отраслей

Характеристики	Функциональное назначение модуля			
	БИЧЗ (IMU)	Гирогоризонт (VRU)	Курсовертикаль (AHRS)	БИНС (INS)
Характеристики гироскопов: - диапазон измерения - нестабильность нуля в запуске (девиация Аллана), не более - случайный угловой уход (девиация Аллана), не более - погрешность масштабного коэффициента в температурном диапазоне, не более	± 9000 °/с 10 °/ч $0,2$ °/с/√Гц 0,5%	± 499 °/с 2 °/ч $0,083$ °/с/√Гц 0,3%	± 499 °/с 2 °/ч $0,083$ °/с/√Гц 0,3%	± 3000 °/с 2 °/ч $0,083$ °/с/√Гц 0,3%
Характеристики акселерометров: - диапазон измерения - нестабильность нуля в запуске (девиация Аллана), не более - погрешность масштабного коэффициента в температурном диапазоне, не более	$\pm 30g$ 50 мкг 0,3%	$\pm 30g$ 30 мкг 0,2%	$\pm 30g$ 30 мкг 0,2%	$\pm 30g$ 30 мкг 0,2%
Точность определения углов тангажа и крена (1σ) - при прямолинейном движении - в динамике	- -	без коррекции по СНС: 0,6° с коррекцией по СНС: 0,3° без коррекции по СНС: 1° с коррекцией по СНС: 0,7°		
Точность определения угла курса (азимута) (1σ)	-	без коррекции по СНС/магнитометрам 1,5° за 30 с	с коррекцией по магнитометрам 1,5°	с коррекцией по СНС/магнитометрам 1,0°
Точность определения координат (2σ)	-	без коррекции по СНС -50 м за 30 с	без коррекции по СНС -50 м за 30 с	- с коррекцией по СНС -5 м в горизонтальной плоскости, -8 м по высоте
Рабочая температура, °C	-55...+60			

Реклама

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ Фаворит-ЭК

Stäubli, NICOmatic, ИНТЕГРАЛ, МИКРО ЭЛЕКТРОНИКА, МИПАНДР, АДСИТЕД, Multi-Contact, MC, АЭ АМИТРОН ЭЛЕКТРОНИКС, АЕДОН, KB системы, TESLA ELECTRIC, Great River Technology, ChipStar, АО ГИРООПТИКА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, АРБЕНОС, NESSCAP ULTRACAPACITORS, Microsemi, UMS United Monolithic Semiconductors, GUYA 高华科技, microcross, CYPRESS, CRANE INTERPOINT, IOR HiRel, JDS JOURNALPHEN CO. LTD, ЦАО ЗАВОД АТЛАНТ, ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ, hummel, MENTOR, Grayhill, KYOCERA, SHARP, NUB, i-sft, amul, BITEMAX, LUMINEO, POWERED BY BENQ, RAYSTAR OLED Display Provider, ana digm, RDC, Wolf speed, TDK-Lambda, Cvilux Group, ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ, CREE, Switchcraft

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

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

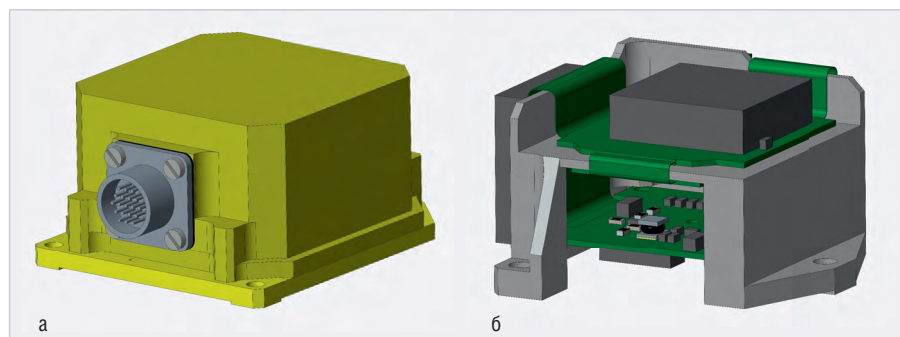


Рис. 2. БИЧЭ-100-мини: а) корпусное исполнение IP67; б) бескорпусное исполнение

Таблица 2. Основные характеристики преобразователей угловой скорости из состава БИЧЭ-100-мини

Характеристика	Значение
Диапазон измерения, °/с	±300
Погрешность масштабного коэффициента (1σ), %, не более	0,5
Нестабильность нуля («не ноль»), в том числе в условиях хранения, °/с, не более,	0,2
Чувствительность к линейному ускорению, °/с/g, не более,	0,02

элементы изготавливаются полностью по групповой технологии с сохранением требуемого уровня вакуума на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Гибкая, быстро переналаживаемая система автоматического проектирования микромеханических структур и широкая номенклатура функциональных возможностей, заложенная в СБИС

Таблица 3. Основные характеристики преобразователей линейного ускорения из состава БИЧЭ-100-мини

Характеристика	Значение
Диапазон измерения, м/с ² (g)	±294 (±30)
Погрешность масштабного коэффициента (1σ), %, не более	0,2
Нестабильность нуля («не ноль»), в том числе в условиях хранения, не более, mg	10

СНК, позволяют обеспечивать режимы самотестирования и контроля текущего значения параметров при долгосрочном хранении и эксплуатации в составе аппаратуры высшего уровня интеграции.

Из новейших разработок особого внимания заслуживает блок БИЧЭ-100-мини (см. рис. 2). В отличие от других изделий, этот прибор универсален с точки зрения эксплуа-

тации и может быть выполнен в двух габаритных исполнениях:

- корпусное исполнение IP67: габаритные размеры 67,9×51×31,5 мм, масса 150 г, разъем – вилка MP1-19-1-B;
- бескорпусное исполнение: габаритные размеры 39,4×40,4×22 мм, масса 50 г, разъем – розетка Harwin M80-8980705.

БИЧЭ-100-мини можно использовать как в корпусе, т.е. с крышкой и основанием, так и в бескорпусном исполнении. Функциональное назначение остается прежним – определение линейного ускорения и угловой скорости объекта с целью вычисления его местоположения и стабилизации.

Общие для всех исполнений БИЧЭ-100-мини технические характеристики:

- напряжение питания 12 В;
- ток потребления 0,2 А;
- интерфейс RS-232;
- время готовности 5 с;
- диапазон рабочих температур от –55 до +60°C;
- частота выдачи данных до 1 кГц;
- полоса пропускания до 300 Гц;
- ударопрочность 100g в течение 3–4 мс.

Подтвержденные функциональные показатели преобразователей угловой скорости и линейного ускорения из состава БИЧЭ-100-мини приведены соответственно в таблицах 2 и 3. ©

НОВОСТИ МИРА

НОВЕЙШИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКИХ И ФОТОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Keysight Technologies представила решения для когерентного тестирования и измерения параметров оптических компонентов сетей группы стандартов 400G/PAM4, охватывающие весь цикл создания изделия – от проектирования до измерения характеристик и тестирования на всех уровнях сети вплоть до производственных испытаний.

Модули нагрузки Keysight Ixia K400 QSFP-DD впервые в отрасли продемонстрировали передачу данных по сети 400G Ethernet на основе модуляции PAM4 с помощью оптических трансиверов QSFP-DD LR8 компании Source Photonics.

Контрольно-измерительные решения компании Keysight для измерений в оптическом диапазоне применялись в ходе исследований и разработки новых устройств, которые были продемонстрированы на конференции



OFC 2018. Данные решения стали неотъемлемой частью более чем двадцати демонстраций на этом мероприятии.

Кроме того, нагрузочный модуль Keysight Ixia K400 QSFP-DD 400GE был использован для демонстрации проверки совместимости новейших технологий в павильоне Альянса Ethernet (EA), а также для создания оптического канала 400GE между павильоном EA и павильоном 5525 Форума оптических коммуникаций (OIF).

Также Keysight Ixia K400 продемонстрировал передачу и приём данных по полнодуплексному каналу 400G Ethernet из павильона EA с помощью транспортной технологии для соединения оптики Finisar QSFP-DD с Juniper 400G. Аналогичным образом широкополосные осциллографы Keysight DCA были использованы для проверки совместимости в павильоне OIF.

www.keysight.com



14-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ — ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

**15-17 мая 2018 г.,
Москва, ВДНХ,
павильон 75, «Россия»**

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Консолидация усилий власти, науки и бизнеса в развитии отечественного приборостроения для обеспечения нужд промышленности и оборонного комплекса страны, а также повышение эффективности российской системы измерений, совершенствование нормативной базы метрологии с учетом международных тенденций в целях поддержки инноваций и их продвижения.

ПРОГРАММА ФОРУМА



METROLEXPO

Метрология и Измерения

14-я выставка средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения.



CONTROL&DIAGNOSTIC

Контроль и Диагностика

7-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы.



RESMETERING

Учёт энергоресурсов

7-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов.



LABTEST

Лабораторное оборудование

6-я выставка аналитических приборов и лабораторного оборудования промышленного и научного назначения.



PROMAUTOMATIC

Приборостроение и автоматизация

6-я выставка оборудования и программного обеспечения для технологических и производственных процессов.



WEIGHT SALON

Весовой салон

2-я выставка весового оборудования.

Организаторы



РОССТАНДАРТ

Поддержка



Международные партнеры



Стратегический
партнер



Ключевые
партнеры выставки



Генеральный
партнер



Устроитель
и выставочный оператор



ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

Реклама

129344, Москва, ул. Искры, д. 31, корп. 1
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)

www.metrol.exprom.ru
E-mail: metrol@exprom.ru

Новости российского рынка

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИСПЫТАНИЯ ВЕКТОРНЫХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ СЕРИИ CABAN

В ФБУ «Ростест-Москва» проведены работы по экспериментальной части испытаний в целях утверждения типа векторных рефлектометров «CABAN R60» и «CABAN R180». На основании положительных результатов и полностью подтвержденных метрологических и технических характеристик оформлена и скорректирована сопроводительная документация.



В ближайшее время для данных рефлектометров планируется получение свидетельств об утверждении типа.

Технические характеристики рефлектометра CABAN R60:

- диапазон частот от 1 МГц до 6 ГГц;
- измеряемые параметры: S11, потери в кабеле / S11, IS21I, IS12I, S22 (при использовании двух рефлектометров);
- динамический диапазон измерений (при полосе фильтра ПЧ 100 Гц) 109 дБ (тип.);
- диапазон регулирования выходной мощности от -40 до 0 дБ/мВт (тип.);
- время измерения на одной частоте 100 мкс;
- потребляемая мощность 3,5 Вт.

Технические характеристики рефлектометра CABAN R180:

- диапазон частот от 1 МГц до 18 ГГц;
- измеряемые параметры: S11, потери в кабеле / S11, IS21I, IS12I, S22 (при использовании двух рефлектометров);
- динамический диапазон измерений 110 дБ (<6 ГГц) / 94 дБ (>6 ГГц) (тип.);
- диапазон регулирования выходной мощности от -15 до 0 дБ/мВт (тип.);
- время измерения на одной частоте 100 мкс;
- энергопотребление 8 Вт.

www.planarchel.ru

Компания «Микран» получила свидетельства об утверждении типа средств измерений

Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Ростандарт) выдано новое свидетельство об утверждении типа средств измерений, утвержденное приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28 марта 2018 г. № 565, на наборы мер серии НЗМ.

Наборы мер серии НЗМ предназначены для настройки, калибровки и поверки скалярных и векторных анализаторов цепей в коаксиальных трактах 7,0/3,04 мм и 3,5/1,52 мм.



В состав наборов мер входят рассогласованные нагрузки и аттенюаторы. Каждая из нагрузок может использоваться как мера КСВН или как мера отражения в качестве рабочего эталона. Аттенюаторы применяются в качестве мер коэффициента передачи.

Номинальные значения элементов наборов мер выбраны для обеспечения поворков широкого спектра измерителей. Каждый элемент набора имеет индивидуальное табличное описание – зависимость коэффициента передачи или коэффициента отражения от частоты. Файлы с описаниями содержатся на прилагаемом к набору диске и/или USB-накопителе.

Для достижения высокой повторяемости результатов измерений при подклю-

динении элементов набора в комплекте предусмотрены тарированные и поддерживающие ключи. Корпуса и гайки нагрузок и аттенюаторов изготовлены из нержавеющей стали, а центральные проводники – из закаленной бериллиевой бронзы. Все центральные проводники покрыты износостойким золотом. Применяемый изолятор обладает низкой диэлектрической проницаемостью и повышенной прочностью. Применение износостойких материалов гарантирует долговечность набора и стабильность результатов калибровки.

www.micran.ru

Тел.: +7 (3822) 42-18-77

Промышленные компьютеры LITEMAX

Компания Litemax (Тайвань), лидер в производстве полосковых дисплеев, приобрела компанию WunMax, разработчика промышленных компьютерных систем. Теперь в линейке Litemax появились компьютеры для индустрии. В продуктовой линейке промышленных компьютеров представлены самые разнообразные модели: от обычных одноплатников до безвентиляторных защищенных.

Безвентиляторные компьютеры – это модельная линейка IBOX. В неё входит пять типов – от А до Е. Отличаются они размерами, встроенным процессором и интерфейсами.



Первой новинкой, представленной Litemax на рынке, стал компьютер IBOX-BSW1. Анонсируемая модель характеризуется небольшими размерами (164×106×31 мм), но впечатляющей функциональностью.

У безвентиляторного компьютера IBOX-BSW1 запроектировано 2 видеointерфейса (HDMI и DP), при этом поддерживается одновременная работа двух монито-

ров. На выбор в компьютер можно установить один из четырёх процессоров: Pentium® N3710 1.6GHz quad-core SoC (6W), Celeron® N3160 1.6GHz quad-core SoC (6W), Celeron® N3060 1.6GHz dual-core SoC (6W) или Celeron® N3010 1.04GHz dual-core SoC (4W).

Компьютер поддерживает операционные системы Windows (7, 8.1, 10) и Linux.

IBOX-BSW1 подходит для уличной эксплуатации. Рабочая температура от –20°C (может быть расширена до –40°C). Безвентиляторное исполнение.

Краткие характеристики компьютера IBOX-BSW1:

- процессор: Celeron® N3010/ N3160/ N3060 или Pentium® N3710;
- память: 1×204-pin DDR3L 1600 МГц SDRAM, до 8 Гб;
- интерфейсы: 1×HDMI, 1×DP, 3×USB, 1×COM, 2×LAN;
- питание DC 9 В ~ 36 В;
- рабочая температура –20...+50°C (опционально от –40°C);
- габариты 164×106,5×30 мм (Ш×Г×В).

www.prochip.ru

Тел.: (495) 232-25-22

БЕЗВЕНТИЛЯТОРНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЬЮТЕР IPPS-2118-SKL2-WP с защитой IP68

Тайваньская компания Litemax, прочно занимающая позиции лидера в производстве полосковых ЖК-дисплеев, выходит на рынок защищённых промышленных компьютеров.



Новая разработка – IPPS-2118-SKL2-WP – это безвентиляторный панельный компьютер, компактный и универсальный. Он будет востребован как в промышленности, так и в других ответственных применениях, например, в порту.

На рынке не так много устройств, способных работать при температуре –30°C, в условиях прямого солнечного освещения и в любую погоду, поэтому тайваньский компьютер может

стать оптимальным решением для многих приложений. В этом компьютере для защиты сделано всё: корпус IP68 из стали и алюминия, оптический бондинг между стеклом и дисплеем, защищённые цилиндрические разъёмы.

На выбор доступно четыре процессора: Intel® Core™ i7-6600U 2.6GHz dual core, Intel® Core™ i5-6300U 2.4GHz dual core, Intel® Core™ i3-6100U 2.3GHz dual core или Intel® Celeron® 3955U 2.0GHz dual core.

Краткие характеристики панельного компьютера IPPS-2118-SKL2-WP:

- размер дисплея по диагонали 21,5";
- габаритные размеры 544×43,5×335,5 мм (Ш×Г×В);
- разрешение 1920×1080;
- яркость 1600 кд/м² (опционально 250 кд/м²);
- углы обзора 170°/160°;
- сенсорный экран – проекционно-ёмкостной, 10 точек;
- память: SDRAM 1 × 260-pin DDR4 2133 МГц (до 16 Гбайт); 1 × 2,5" HDD, 1 × mSATA;
- интерфейсы: 2 × RS-232, 2 × USB 2.0, 2 × LAN, защищённые.

www.prochip.ru

Тел.: (495) 232-25-22

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

VECTOR INFORMATIK И SYSGO СОВМЕСТНО РАЗРАБАТЫВАЮТ АВТОМОБИЛЬНУЮ ПРОГРАММНУЮ ПЛАТФОРМУ AUTOSAR ADAPTIVE

Открытая Автомобильная Системная Архитектура AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) разработана консорциумом с аналогичным названием (www.autosar.org), который был создан в 2003 г. автопроизводителями и их поставщиками – производителями электроники и программного обеспечения.

Целью разработки данной платформы была унификация программных интерфейсов между системным ПО электронных блоков управления (ECU) и прикладным ПО. Это позволило разработчикам автомобильных приложений создавать приложения, переносимые (повторно используемые) не только внутри модельного ряда, но даже между моделями автомобилей различных производителей.

В современном автомобиле десятки ECU, каждый исполняющий свою функцию и соответствующее функциональное ПО. Новые задачи, такие как автоматизация вождения, предъявляют новые требования – ECU должны стать многофункциональными, т.е. способными исполнять несколько программных приложений одновременно. Для этого базовое системное ПО ECU должно обеспечить изоляцию приложений, чтобы



ошибка в одном приложении не влияла на работоспособность другого приложения.

Новая архитектура AUTOSAR Adaptive предполагает построение ECU на базе микроконтроллеров с устройством управления виртуальной памятью MMU (Memory Management Unit) и основана на операционной системе, обеспечивающей изоляцию путём исполнения приложений в отдельных виртуальных адресных пространствах. Чтобы избежать путаницы, предыдущая однофункциональная архитектура ECU с единым физическим адресным пространством AUTOSAR была переименована в AUTOSAR Classic.

Немецкие компании Vector Informatik и SYSGO объявили о создании совместного предприятия, которое разработает реализацию архитектуры AUTOSAR Adaptive на базе операционной системы реального времени PikeOS компании SYSGO и комплекса средств разработки MICROSAR компании

Vector Informatik. Новый комплекс будет называться MICROSAR Adaptive и будет поставляться через Vector Informatik как интегрированная платформа для разработки приложений ECU, поддерживающих AUTOSAR Adaptive и сертифицируемых по стандарту безопасности ПО ISO 26262 вплоть до максимального уровня критичности для безопасности ASIL D (Automotive Safety Integrity Level).

В рамках деловой программы 12-й международной выставки информационных технологий и электроники для пассажирского транспорта и транспортной инфраструктуры «Электроника-Транспорт 2018», которая пройдёт 16-17 мая 2018 г. в Москве в КВЦ «Сокольники», состоится доклад «SYSGO PikeOS – OCPB и гипервизор, сертифицированные по стандартам безопасности ПО для рельсового (EN 50128) и дорожного (ISO 26262) транспорта».

www.avdsys.ru/pikeos

Тел.: (916) 194-42-71

ПО на языке Ада управляет искусственным сердцем

Большинство больных с сердечной недостаточной четвёртой степени, нуждающихся в трансплантации сердца, не доживают до операции из-за длительного срока ожидания донорского органа. Искусственное сердце позволяет таким больным дожидаться операции.

Шведская компания Scandinavian Real Heart AB ведёт разработку искусственного сердца нового поколения TAH (Total Artificial Heart), которое полностью повторяет алгоритм работы сердца и позволит больным вести нормальный образ жизни за пределами клиники.

К контроллеру, управляющему насосами TAH, и к его программному обеспечению предъявляются высочайшие требования по надёжности. В качестве языка программирования этого контроллера был выбран язык Ада и инструментальные средства компании AdaCore.

Язык программирования Ада предназначен для разработки программно-

го обеспечения высоконадёжных, критических для безопасности встраиваемых компьютерных систем, подлежащих сертификации по стандартам безопасности, таким как DO-178 (авионика), EN 50128 (железнодорожные системы), ISO 26262 (автоэлектроника) и IEC 62304 (медицинская техника). В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 62304-2013 «Исделия медицинские. Программное обеспечение. Процессы жизненного цикла», идентичный международному стандарту IEC 62304. Язык Ада является международным стандартом ISO 8652.

Для разработки ПО управления искусственным сердцем TAH применены следующие инструментальные средства компании AdaCore:

- GNAT Pro Ada for ARM – компилятор и комплекс средств разработки на языке Ада для микропроцессоров с архитектурой ARM;
- SPARK Pro – комплекс средств верификации ПО на языке SPARK (формально-верифицируемое подмножество языка Ада);



- GNATstack – средство статического анализа ПО на отсутствие ситуаций переполнения стека.

Дистрибьютор компании AdaCore в России – компания АВД Системы – поставщик средств разработки программного обеспечения критически важных для безопасности сертифицируемых встраиваемых компьютерных систем.

www.avdsys.ru/ada
Тел.: (916) 194-42-71

Уникальные цены на продукты MENTOR GRAPHICS

ЗАО «Нанософт», официальный дистрибьютор компании Mentor Graphics, объявляет о старте специального предложения на приобретение мощного пакета программных решений для разработки электроники – PADS.

Для разработки, анализа и верификации печатных плат любой сложности предлагаются профессиональные масштабируемые программные решения PADS и HyperLynx. Они включают в себя все необходимые инструменты, поддерживающие сквозной маршрут проектирования при разработке сложных печатных плат с высокоскоростными интерфейсами.

PADS и HyperLynx позволяют устранить ошибки на любой стадии проектирования,

NANOSOFT
DISTRIBUTION



снизить затраты и значительно ускорить получение готового образца.

Программные решения PADS могут быть дополнены специальными модулями:

- HyperLynx DRC – проверка правил проектирования на проблемы электромагнитной совместимости, анализа целостности сигналов и питания;
- HyperLynx DC Drop – анализ падения напряжения в цепях питания;

- Rigid-Flex Design – проектирование гибко-жестких печатных плат;
- RF Design – проектирование ВЧ-плат;
- HyperLynx DDR – анализ тайминга и целостности сигналов DDRx;
- Multi-Trace High-speed (HSD) Routing/Tuning – быстрая трассировка/тюнинг высокоскоростных цепей и шин;
- PADS FloTHERM XT - Анализ поведения воздушного потока и теплопередачи для устройств со сложной геометрией;
- DFMA – поиск технологических ошибок до начала производства;
- FPGA-PCB Co-Design – синтез и оптимизация ПЛИС.

Подробную информацию об акции можно получить у специалистов компании «Нанософт» или на сайте: <http://cad-expert.ru/promo-mentor/> (промокод: Padssoel2018).

<http://cad-expert.ru/>
Тел.: (495) 645-8626 доб. 1138

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

2,23" OLED-дисплей с кристаллом драйвера на печатной плате

Компания Raystar Optonics, Inc выпустила графический OLED-дисплей REP012832A с кристаллом драйвера, установленного на печатной плате.

Размер диагонали нового дисплея 2,23 дюйма, формат – 128×32 пикселей.

Изображение на дисплее весьма удобно для считывания, благодаря высокой контрастности (2000:1) и большому размеру экрана.

Для управления применяется микросхема драйвера SSD1305Z, которая обеспечивает работу через: параллельный 6800/8080-совместимый 8-разрядный интерфейс, I²C и 4-проводный последо-

вательный интерфейс Serial Peripheral Interface (SPI). Напряжение питания для логической части дисплейного модуля от 3 до 5 В.

Дисплей REP012832A имеет 20 металлических контактов и монтажные отверстия для монтажа на плату. В качестве заказных частей предлагается звуковой и вибрационный сигнализаторы. Дополнительно

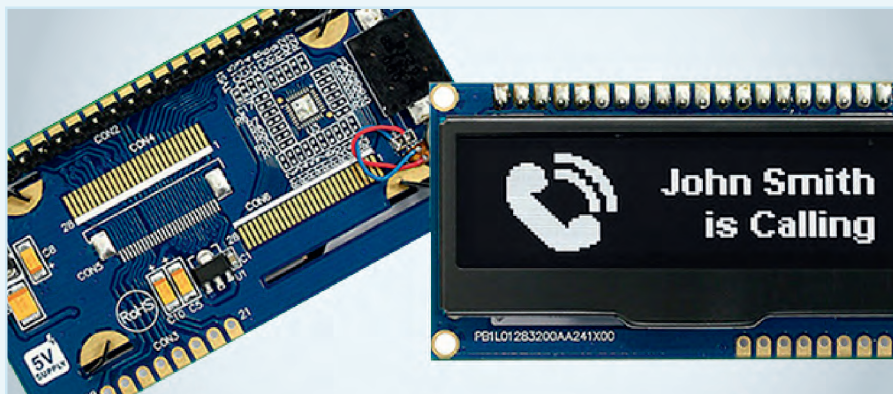
предлагаются модели с различными способами соединения внешних сигналов к дисплейному модулю: плоский гибкий кабель с соединителем или соединение пайкой.

Новый OLED-дисплей предназначен для применений в системах управления интеллектуальным домом, медицинских приборах, приборах с интеллектуальным управлением и др. Предлагается модель с белым цветом свечения экрана.

Диапазон рабочей температуры от -40 до $+80^{\circ}\text{C}$, диапазон температур хранения от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Основные параметры REP012832A:

- габаритные размеры 66,5×35×9 мм;
- видимая область экрана 55,018×13,098 мм;
- размер пикселя 0,408×0,388 мм;



- шаг пикселя 0,43×0,41 мм;
- цвет свечения экрана – белый;
- коэффициент мультиплексирования строк 1/32;

- интерфейсы: 6800/8080, SPI, I²C;
- размер экрана по диагонали 2,23".

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-06-36

1,71" OLED-дисплей с разрешением 128×32 пикселей

Компания Raystar Optonics, Inc объявила о начале выпуска графического дисплейного модуля OLED REX012832G с форматом 128×32 пикселей.

Интегральная микросхема драйвера SSD1307ZD обеспечивает работу через интерфейсы I²C и четырёхпроводный последовательный интерфейс SPI. Достоинством последовательного интерфейса является меньшее число сигналов управления, упрощается соединение «дисплей – контроллер» за счёт меньшего числа проводников. Напряжение питания логической части дисплея составляет 3 В.

Конструкция «кристалл на стекле» (Chip-on-Glass, COG) представляет собой размещение управляющей микросхемы непосредственно на подложке дисплея, что позволяет уменьшить габариты и стоимость прибора.

Новый 1,71" дисплейный модуль наилучшим образом подходит для применения в портативных устройствах, испытательном оборудовании, медицинских переносных приборах и пр.

В настоящее время предлагается модель с белым цветом свечения. Модели с другими цветами свечения экрана будут выпущены в ближайшее время.

Дисплейный модуль REX012832G может работать в диапазоне температур от -40 до $+80^{\circ}\text{C}$, диапазон температур хранения от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Основные параметры REX012832G:

- габаритные размеры 50,5×15,75×2,01 мм;
- видимая область экрана 42,22×10,54 мм;
- размер пикселя 0,308×0,388 мм;
- шаг пикселя 0,33×0,33 мм;



- цвет свечения экрана – белый;
- коэффициент мультиплексирования строк 1/32 (32 – число адресуемых строк);
- микросхема драйвера SSD1307ZD;

- интерфейсы: SPI и I²C;
- размер экрана по диагонали 1,71".

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-06-36

IF/RF & Microwave Design **Advantex**



СВЧ-блоки

Синтезаторы частот до 20 ГГц, -140 дБн/Гц @ 1 ГГц, при отстройке 10 кГц, умножители частоты

Аттенюаторы, управляемые напряжением до 26 ГГц

Усилители до 20 ГГц, 0.5 Вт

I/Q модуляторы / демодуляторы, смесители, фильтры

Приборы

Генераторы сигналов, электронные аттенюаторы, I/Q-модуляторы

www.advantex.ru

Реклама

Ожидания работодателя не всегда совпадают с реальностью

Эксперты рассказали, какие кадры необходимы российской электронике

Динамично меняющийся мир диктует свои правила. К ним вынужден приспосабливаться как рынок в целом, так и специалисты отрасли, которым приходится, демонстрируя профессиональную гибкость, подстраиваться под новые обстоятельства. Однако, по мнению экспертов, даже с течением времени базовые профессии не потеряют своей ценности и будут востребованы, а значит, при приёме на работу нового сотрудника не стоит делать ставку на его умение приспосабливаться к обстоятельствам. Специалист должен, прежде всего, понимать ценность своей профессии, видеть чёткие цели и иметь высокую мотивацию для их достижения.

К такому выводу пришли участники московской конференции «Кадры российской электроники». Мероприятие организовал Информационно-аналитический центр современной электроники совместно с Ассоциацией разработчиков и производителей электроники и НП «РУССОФТ».

Рынок труда должен быть прозрачным

«Проблематика профессионального развития в отрасли, несомненно, крайне важна, – отмечает исполнительный директор Ассоциации разработчиков и производителей электроники (АРПЭ) Иван Покровский. – Мы регулярно проводим семинары в технических вузах, цель которых – рассказать старшекурсникам о том, что если после университета они останутся в профессии, то получат гораздо больше возможностей для реализации, нежели если перейдут работать не по специальности, даже в

смежные области. Оставаясь в профессии, можно развиваться и быть востребованным всю жизнь, в другой же сфере есть риск того, что работодатель, эксплуатировав сотрудника некоторое время, заменит его на более молодого и энергичного».

Спикер подчеркнул: молодые люди, которые приходят в электронику, хотя бы иметь представление об отрасли на ближайшие 10–20 лет и видеть перспективы компаний, работающих в выбранном ими технологическом направлении. Однако сегодня наблюдаются большие проблемы не только с общей

стратегией развития отрасли, но и со стратегиями компаний. АРПЭ пытается заполнить этот вакуум: в настоящее время дорабатывается проект отраслевой стратегии, где будут отражены такие аспекты, как вовлечение ведущих экспертов отрасли в подготовку молодых кадров, обеспечение наставничества и помощь в планировании карьеры, корреляция программы подготовки в вузах с адекватными требованиями работодателей. Выход стратегии развития отрасли запланирован на октябрь 2018 года.

Сложнее с компаниями – большинство из них сейчас работают в модели ситуативного управления. При этом можно выделить два подхода: интеграторы технологий фокусируют внимание на определённом рынке, потребностях заказчика и делают продукт под него, а у разработчиков технологий в приоритете развитие конкретной технологии и расширение области её применения. Таким образом, молодой специалист, выбирая направление своей деятельности, должен ориентироваться на один из этих профилей и «на берегу» решить, чем он хочет заниматься – разработкой технологий или участвовать в их интеграции. Другое дело, что современный инженер в любом случае должен обладать широким набором компетенций не только в области разработки, исследований, эксплуатации, но и в управлении проектами, маркетинге, экономике, иметь широкий кругозор и уметь вести переговоры.

По мнению Ивана Покровского, важнейшей задачей является создание прозрачного структурированного рынка труда. Для этого, в первую очередь, необходимо сформировать обширную базу актуальных вакансий, выровнять зарплатные ожидания и реальные предложения, представить соискателям прозрачную картину заработных плат по специальностям, квалификационным уровням и регионам. В этом направлении активно работает кадровый комитет АРПЭ, в числе задач которого: организация работы предприятий



Татьяна Степанова



Иван Покровский

с отраслевыми вузами и техникумами, разработка профессиональных стандартов, создание отраслевого Совета по профессиональным квалификациям в области разработки и производства электроники, а также привлечение профессиональных кадров на предприятия, входящие в состав Ассоциации. В частности, что касается организации работы с отраслевыми вузами: на 2018 год запланировано десять семинаров в московских и крупнейших региональных вузах: МИФИ, МИРЭА, МАИ, НГТУ, ТПУ, ЮРГПУ, УФИ, ВГТУ; будет организована проработка курсовых и дипломных работ с работодателями, пройдут конкурсы проектов и гранты; к преподавательской деятельности планируют пригласить экспертов компаний; будет организована практика для студентов.

Координатор кадрового комитета АРПЭ Татьяна Степанова подробно рассказала о работе в области разработки профстандартов. В частности, она упомянула, что в диалоге с партнёрами на первом этапе определено три базовых стандарта: «Инженер-схемотехник электронной аппаратуры», «Инженер-конструктор электронной аппаратуры» и «Технолог производства электронной аппаратуры». На втором этапе: «Инженер-схемотехник аналоговых/цифровых микросхем», «Инженер-конструктор аналоговых/цифровых микросхем» и «Технолог полупроводникового производства». На третьем – стандарты по направлениям с опциями специальных требо-

ваний по цифровой электронике, аналоговой прецизионной электронике, радио и СВЧ-электронике, силовой электронике и оптоэлектронике.

В 2018 году кадровый комитет АРПЭ планирует утвердить стандарт «Инженер-схемотехник электронной аппаратуры» (в октябре 2017-го Министерство труда и социального развития РФ одобрило заявку АРПЭ на разработку этого стандарта), опубликовать стандарт и запустить процесс его интеграции с образовательными стандартами в профильных вузах. Параллельно будет вестись разработка двух базовых профессиональных стандартов «Инженер-конструктор электронной аппаратуры» и «Технолог производства электронной аппаратуры».

«Также планируем собрать необходимые рекомендации и подать документы на регистрацию Совета по профессиональным квалификациям в области разработки и производства электроники; подготовить страницу сайта АРПЭ, которая будет представлять собой навигатор с ссылками, где будут размещены рекомендации и обобщены лучшие практики по привлечению и профессиональному развитию специалистов», – уточнила Татьяна Степанова.

Не готовы к профессиональной деятельности

Важный вопрос о восполнении пробела между компетенциями выпускников и потребностями работодате-



Анна Филатова

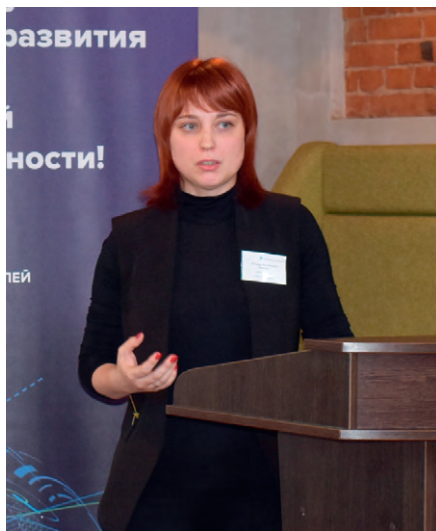
ля подняла директор по персоналу GS Nanotech Анна Филатова.

«Средний возраст сотрудников нашего предприятия не превышает 30 лет, мы открыты для выпускников вузов. Однако, как и большинство работодателей, принимающих на работу молодых специалистов, сталкиваемся с проблемой их недостаточной готовности к профессиональной трудовой деятельности, – комментирует она. – Разумеется, хороший работодатель настраивает новичка на работу через систему обучения, адаптации, мотивации, знакомит его с особенностями технологий, стандартами, методами работы, но ведь и у компаний есть определённые потребности, ожидания относительно базовых знаний и определённых компетенций. Зачастую эти ожидания не совпадают с реальностью: наш опыт позволяет утверждать об отсутствии необходимых знаний и компетенций у студентов и выпускников вузов по ряду направлений производственной деятельности. Этот пробел затрудняет работу со студентами на практике, не даёт возможности новым сотрудникам правильно стартовать и эффективно, быстро развиваться».

В числе наиболее проблемных направлений, где особенно остро ощущается нехватка компетенций: система менеджмента качества и инструменты качества; менеджмент, основы маркетинга и экономики; охрана труда и промышленная безопасность, экологическая безопасность; трудовое и гражданское законодательство.

Это не новая проблема, но с годами она только обостряется, тем более сейчас с введением профстандартов речь идёт о переходе на новый уровень. Госу-





Татьяна Вальдес

дарство работает в этом направлении: с 1 июля 2016 года вступила в силу ч. 7 ст. 11 Федерального закона № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», где говорится, что федеральные государственные образовательные стандарты должны готовиться с учётом профстандартов. Кроме того, согласованы «Методические рекомендации по актуализации действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) с учётом принимаемых профессиональных стандартов». В 2017 году пересмотрен ряд ФГОС по направлениям «Электроника, радиотехника и системы связи» и «Нанотехнологии и материалы» с учётом профстандартов.

«Мы неоднократно задавались вопросом: может быть, у нас слишком высокие требования к выпускникам? Оказалось, это проблема не конкретного вуза, а в целом учебных заведений по стране, – говорит спикер. – Тогда мы посмотрели ФГОСы по интересующим нас направлениям: «Электроника и нанoeлектроника» (уровень бакалавриата), «Конструирование и технология электронных средств» (уровень бакалавриата), «Электроника и нанoeлектроника» (уровень магистратуры), «Конструирование и технология электронных средств» (уровень магистратуры) и выявили несоответствие примерных основных образовательных программ высшего образования ФГОС ВО, а также несоответствие ФГОС ВО потребностям работодателей и профессиональным стандартам. На наш взгляд, для решения проблемы необходимо актуализировать федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования и программы высшего образования на основе профстандартов. Очевидно, чтобы сформировать актуальные образовательные программы, учебные заведения должны проанализировать профстандарты и рынок труда. Кроме того, не последнюю роль играет кооперация государства, бизнеса и образовательных учреждений с целью подготовки квалифицированных специалистов для высокотехнологичного сектора российской экономики».

Пока это не сделано, GS Nanotech своими силами пытается восполнить пробелы, включая теоретический материал в программы прохождения практики для студентов и реализуя обучающие программы для действующих сотрудников. Всего за пять лет в компании прошли практику более 50 студентов КГТУ, БФУ им. И. Канта, ПетрГУ, ТУСУР, МГТУ им. Н.Э. Баумана. За шесть лет трудоустроены более 30 выпускников вузов из Калининграда, Санкт-Петербурга, Петрозаводска, Мурманска, Томска, Ростова-на-Дону, что ещё раз подтверждает: работодатели заинтересованы в привлечении молодых кадров.

Этот посыл поддержала ведущий экономист ООО Научно-производственная фирма «Спецсистемы» (г. Тверь) Татьяна Вальдес, которая заметила, что для малого бизнеса проблема привлечения квалифицированных специалистов стоит ещё более остро. В целях стимулирования эффективного труда, обеспечения единства в оценке трудового вклада рабочих, специалистов, служащих, руководителей представляемое ею предприятие разработало и внедрило систему материального премирования. За основу принята многоступенчатая система оплаты труда, и даже молодым специалистам предоставляются гарантии, материальные компенсации.

«Мы делаем большой акцент на работе с молодёжью, поскольку для успешного функционирования в условиях многономенклатурного, серийного производства кадровый состав малого предприятия должен включать, в основном, специалистов-универсалов. То есть каждый сотрудник должен уметь выполнять несколько видов работ на высоком профессиональном уровне, поэтому большую роль играет обучение специалистов в процессе работы, повышение профессионального уровня за счёт освоения новых видов работ и опыта в производстве, – говорит Татьяна Вальдес. – Дефицит кадров на рынке труда со специальным образованием приводит к необходимости конкурировать с другими предприятиями. Поэтому мы заинтересованы в максимальном сокращении сроков подготовки специалистов к решению актуальных для предприятия задач».

Главное – наладить взаимодействие

Исполнительный директор Ассоциации вузов ЭКБ, доцент кафедры Интегральной электроники и микроси-



стем МИЭТ, к.т.н. Антон Козлов согласился с тем, что необходимо наладить взаимодействие между предприятиями и вузами. Разумеется, точки соприкосновения есть и сегодня. Особенно востребованы такие направления сотрудничества, как: целевой приём и целевое обучение; сетевые образовательные программы; дополнительные образовательные программы; организация практик и последующее трудоустройство; формирование тем курсовых работ и выпускных квалификационных работ; подготовка совместных дистанционных онлайн-курсов для программ магистратуры; выступления представителей компаний на Днях открытых дверей в вузах.

Антон Козлов убеждён: к проектированию основной образовательной программы в вузах нужно привлекать потенциальных работодателей – в таком случае удастся определить социальный заказ и требования компаний к выпускникам предполагаемого профиля подготовки, а также сформулировать цель программы и обозначить желаемые результаты обучения. К тому же тогда станет понятно, какой конкретный «продукт» предполагается получить по окончании обучения; к каким видам деятельности и к решению каких профессиональных задач будет подготовлен выпускник, какие профессиональные действия и на каком уровне он будет способен совершать.

В качестве иллюстрации текущей ситуации спикер привёл результаты анализа трудоустройства выпускников вузов на предприятиях радиоэлектронной промышленности (РЭП) РФ. Эксперты опирались на данные 11 вузов из 7 регионов страны, рассмотрели данные по трудоустройству

выпускников 66 направлений (специальностей) по истечении одного, трёх и пяти лет. Выяснилось, что не менее 40% трудоустроенных выпускников продолжают работать на предприятиях РЭП даже спустя пять лет, а в большинстве регионов – более 70%. При этом процент выпускников вузов, работающих на предприятиях РЭП, зависит от региона (вузов); с годами процент падает, но не более чем на 30% к пяти годам работы, а в Москве и Нижегородской области даже возрастает. Среди опрошенных вузов наиболее востребованными направлениями подготовки у работодателей сейчас являются: «Электроника и микроэлектроника», «Микроэлектроника и твердотельная электроника», «Радиотехника» и «Конструирование и технология электронных средств».

Докладчик также упомянул о деятельности Ассоциации вузов, осуществляющих подготовку кадров в области РЭП. География Ассоциации, куда входят 17 членов (16 российских вузов и одно предприятие) действительно обширна: Москва (МИЭТ, МАИ, МЭИ, МИФИ), Воронеж (ВГТУ, ВГУ), Нижний Новгород (НГТУ им. Р.Е. Алексеева; НГУ им. Н.И. Лобачевского), Рязань (РГРТУ), Самара (СГАУ им. С.П. Королёва); Саратов (СГУ им. Н.Г. Чернышевского), Санкт-Петербург (СПбГЭУ (ЛЭТИ), АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон»»), Ростовская область (ЮФУ), Омск (ОмГТУ), Ярославль (ЯрГУ им. Демидова) и Томск (ТусСУР). Среди ключевых задач Ассоциации – совершенствование подготовки высококвалифицированных специалистов для осуществления научной и инновационной деятельности,



Антон Козлов

ориентированной на решение задач отечественной радиоэлектронной промышленности; обеспечение тесного взаимодействия с предприятиями-лидерами в области разработки и создания электронно-компонентной базы гражданского и специального назначения. Кроме того, ведётся работа в области совершенствования кадровой и научной поддержки развития процессов импортозамещения и повышения экспортных возможностей России на основе интеграции научного, образовательного и инновационного потенциала организаций – членов Ассоциации.

Проблематика выстраивания взаимодействия между вузами и предприятиями отрасли стала лейтмотивом многих выступлений. В ходе дискуссии стороны выразили готовность активизировать сотрудничество, ведь именно от этого зависит будущее отрасли. ©

Материал подготовила
Елена Восканян



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

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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



Основы вероятностного метода SLAM в робототехнике

Андрей Антонов (robotosha@mail.ru)

В статье излагаются основы метода одновременного определения местоположения мобильного робота и построения карты (SLAM) (данный метод активно развивается и широко используется при создании автономных мобильных платформ), а также рассматриваются решения задачи SLAM с использованием расширенного фильтра Калмана (EKF-SLAM) и с применением частичного фильтра (FastSLAM).

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) можно перевести с английского как «одновременное определение местоположения и построение карты». Задача SLAM возникает в случаях, когда мобильный робот, помещённый в неизвестное место с неизвестной окружающей средой, постепенно строит полную карту местности и одновременно определяет своё местоположение в пределах построенной карты. Данный метод позволяет сделать робота по-настоящему автономным.

Задача SLAM была сформулирована теоретически и решена на практике несколькими способами, что явилось одним из наиболее заметных успехов в области робототехники за последние два десятилетия. Методики SLAM были реализованы для роботов, работающих внутри и вне помещений, под водой, а также для летающих робототехнических систем. В качестве примеров современных роботов, в которых используется SLAM, можно привести самоуправляемые автомобили Google [1] и роботы-пылесосы от Neato Robotics [2].

История задачи SLAM

Впервые вероятностная задача SLAM была представлена в 1986 году на конференции Robotics and Automation, проводимой Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE) в Сан-Франциско (США). В то время вероятностные методы только начинали внедряться в области робототехники и искусственного интеллекта. Ряд исследователей искали способы применения теоретико-оценочных мето-

дов в задачах создания карты и определения местоположения. В их числе были Питер Чизман, Джим Кроули и Хью Дюрант-Уайт. В ходе конференции широко обсуждалось последовательное создание карты окружающей среды.

В результате дискуссий было решено, что последовательное вероятностное создание карты является фундаментальной проблемой в робототехнике с серьёзными концептуальными проблемами и сложными вычислительными задачами. В течение следующих нескольких лет работы Смита и Чизмана [3] и Дюранта-Уайта [4] заложили статистическую основу для описания отношений между различными ориентирами на карте и решения задачи геометрической неопределённости. Проведённая учёными работа показала, что между оценками расположения различных ориентиров на карте должна быть высокая степень корреляции и что, на самом деле, эти корреляции растут при проведении последующих наблюдений.

В это же время Аяч и Фоджерас опубликовали работы в области визуальной навигации [5], Кроули, Чатила и Ламонд работали над навигацией мобильных роботов, основанной на ультразвуковых датчиках с использованием фильтровых алгоритмов Калмана [6, 7]. Данные исследования имели много общего, результатом чего стала обобщающая статья Смита [8]. В этой работе было показано, что, если мобильный робот движется в неизвестной среде, производя относительные наблюдения за ориентирами, то все оценки местоположения ориентиров обязательно коррелируют друг с дру-

гом, являясь причиной общей ошибки в расчётах местоположения транспортного средства. Полученные выводы имели большое значение. Оказалось, что полное решение комплексной задачи определения местоположения и построения карты требует совместного определения состояния системы, включающего в себя положение транспортного средства и каждого ориентира. При этом состояние системы изменяется после каждого наблюдения за ориентиром. Решение данной задачи потребовало бы использования огромного вектора состояния и большого объёма вычислений.

Важно отметить, что в рамках этой работы не преследовались цели обеспечения сходимости карты или условий её стационарного поведения. Было принято считать, что ошибки оценки карты не сходятся, а вместо этого имитируют процесс «случайного блуждания» с неограниченным ростом ошибки. Таким образом, учитывая вычислительную сложность задачи построения карты, не зная о сходимости карты, исследователи сосредоточились на приближённом решении задачи последовательного построения карты, что подразумевало минимизацию или устранение корреляций между ориентирами [9]. По тем же причинам теоретическая работа по решению комбинированной задачи определения местоположения и построения карты была временно приостановлена, и исследования часто сосредотачивались либо на построении карты, либо на определении местоположения.

Концептуальный прорыв произошёл с осознанием того, что комбинированная задача построения карты и определения местоположения, сформулированная как единая задача, была на самом деле сходящейся. Было признано, что корреляции между ориентирами, которые большинство исследователей пытались минимизировать, были критической частью задачи, и что, наоборот, с ростом корреляций решение получа-

ется более точным. Структура задачи SLAM, сходящееся решение и аббревиатура SLAM были впервые представлены в работе, посвящённой исследованию мобильной робототехники, в 1995 году на Международном симпозиуме по исследованию робототехники [10]. После этого несколько групп учёных, работавших над задачами построения карты и определения местоположения, начали серьёзно работать над SLAM.

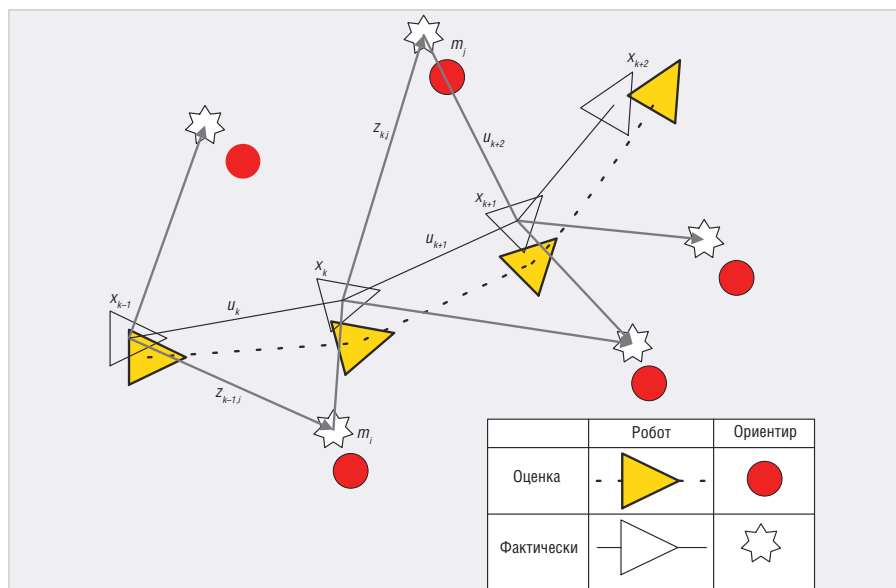
На этот раз усилия специалистов были сконцентрированы на повышении эффективности вычислений и решении проблемы «закрывания петель». Международный симпозиум по исследованию робототехники 1999 года (ISRR'99) [11] стал важным мероприятием, в рамках которого была проведена первая конференция по SLAM. Себастиан Тран представил свою работу [12], в которой соединил воедино методы SLAM, основанные на применении фильтра Калмана, вероятностное определение местоположения и методы построения карты. Проводившийся в 2000 году семинар по SLAM в рамках Международной конференции по робототехнике и автоматизации IEEE (ICRA) привлёк полтора десятка исследователей и был посвящён таким вопросам, как алгоритмическая сложность, сопоставление данных и проблемы реализации метода. В 2002 году семинар по SLAM на конференции ICRA привлёк уже 150 специалистов в различных областях. В последующие годы появилось большое количество научных работ, позволивших решить многие проблемы, возникающие в SLAM.

ФОРМУЛИРОВКА И СТРУКТУРА ЗАДАЧИ SLAM

SLAM является процессом, в рамках которого мобильный робот может построить карту окружающей среды и одновременно использовать эту карту, чтобы сделать выводы о своём местоположении. Траектория движения мобильной платформы и расположение всех ориентиров в SLAM оцениваются в реальном времени, без необходимости какого-либо априорного знания о местоположении.

Предварительные положения

Рассмотрим мобильного робота, движущегося в некоторой окружающей среде и получающего данные о ней посредством наблюдения ряда неизвестных ориентиров с помощью датчика (см. рис. 1). В момент времени определены следующие величины:



Примечание: истинные позиции ориентиров неизвестны и не могут быть прямо измерены

Рис. 1. Одновременная оценка местоположения робота и ориентиров

- x_k – вектор состояния, описывающий местоположение и ориентацию робота;
- u_k – вектор управления, применённый в момент времени $k-1$ для приведения робота в состояние x_k ;
- m_i – вектор, описывающий местоположение i -го ориентира, чьё истинное местоположение предполагается постоянным;
- z_{ik} – наблюдение i -го ориентира, полученное роботом в момент времени k . При наличии нескольких наблюдений ориентира в момент времени k или когда конкретный ориентир не относится к рассматриваемым, наблюдение будет записываться просто как z_{ik} .

Также определены:

- $X_{0:k} = \{x_0, x_1, \dots, x_k\} = \{X_{0:k-1}, x_k\}$ – история местоположений робота;
- $U_{0:k} = \{u_1, u_2, \dots, u_k\} = \{U_{0:k-1}, u_k\}$ – история управляющих входов;
- $m = \{m_0, m_1, \dots, m_n\}$ – множество всех ориентиров;
- $Z_{0:k} = \{z_1, z_2, \dots, z_k\} = \{Z_{0:k-1}, z_k\}$ – множество всех наблюдений ориентиров.

Вероятностный метод SLAM

В вероятностной форме задача одновременного определения местоположения и построения карты (SLAM) требует, чтобы распределение вероятности

$$P(x_k, m | Z_{0:k}, U_{0:k}, x_0) \quad (1)$$

было вычислено для всех моментов времени k . Это распределение вероятности описывает совместную апостериорную плотность местоположения ори-

ентиров и состояния робота (в момент времени k), определяемую данными наблюдений и управляющих входов. В подобных случаях предпочтительно использовать рекурсивные методы решения задачи. Оценка распределения $(x_k, m | Z_{0:k-1}, U_{0:k-1})$ в момент времени $k-1$ в соответствии с управляющим воздействием u_k и наблюдением z_k вычисляется с помощью теоремы Байеса. Эти вычисления требуют, чтобы модели перехода состояния и наблюдения описывали воздействие управляющего входа и наблюдение соответственно.

Модель наблюдения описывает вероятность наблюдения z_k при известном местоположении робота и ориентиров:

$$P(z_k | x_k, m). \quad (2)$$

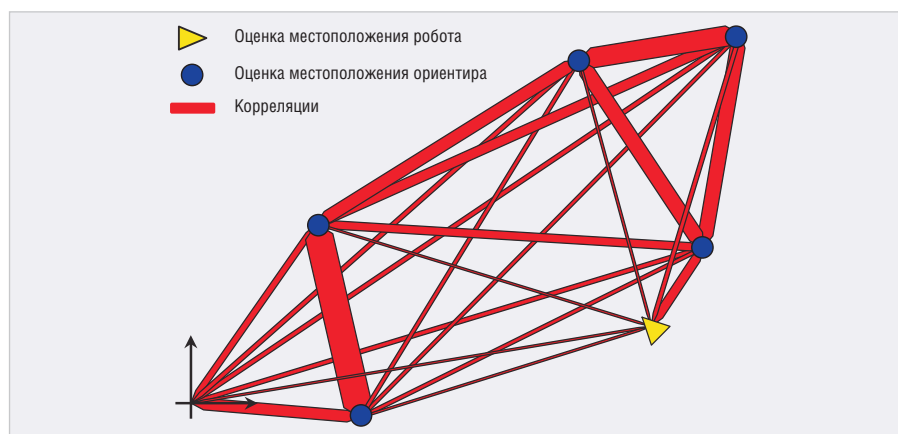
Резонно предположить, что как только местоположение робота и карта определены, наблюдения становятся условно независимыми для данной карты и текущего состояния робота.

Модель движения для робота может быть описана в терминах распределения вероятности перехода состояния в форме

$$P(x_k | x_{k-1}, u_k). \quad (3)$$

Предполагается, что переход состояния является марковским процессом, в котором следующее состояние x_k зависит только от предшествующего состояния x_{k-1} и применённого управляющего воздействия u_k и не зависит от наблюдения и карты.

Алгоритм SLAM реализован в стандартной двухшаговой рекурсивной форме предсказания (временное



Примечание: при движении робота вперёд и назад в окружающей среде жёсткость пружины (корреляция) увеличивается – красные соединения становятся толще

Рис. 2. Аналогия с сетью пружин

обновление) коррекции (обновление измерения).

Временное обновление:

$$P(x_k, m | Z_{0:k-1}, U_{0:k}, x_0) = \int P(x_k | x_{k-1}, u_k) \times P(x_{k-1}, m | Z_{0:k-1}, U_{0:k-1}, x_0) dx_{k-1}. \quad (4)$$

Обновление измерения:

$$P(x_k, m | Z_{0:k}, U_{0:k}, x_0) = \frac{P(z_k | x_k, m) P(x_k, m | Z_{0:k-1}, U_{0:k}, x_0)}{P(z_k | Z_{0:k-1}, U_{0:k})}. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) описывают рекурсивную процедуру для вычисления совместной апостериорной плотности вероятности (1) для состояния робота x_k и карты m в момент времени k , основываясь на всех наблюдениях $Z_{0:k}$ и всех управляющих входах $U_{0:k}$ вплоть до момента времени k . Рекурсия является функцией модели робота (3) и модели наблюдения (2).

Стоит отметить, что задача построения карты может быть сформулирована как задача вычисления условной плотности вероятности $P(x_k | Z_{0:k}, U_{0:k}, m)$. При этом предполагается, что местоположение робота x_k известно (или, по крайней мере, определено) для всех моментов времени. Карта m строится путём объединения данных наблюдений из различных местоположений. С другой стороны, задача определения местоположения может быть сформулирована как вычисление распределения той же вероятности. При этом предполагается, что местоположение ориентиров известно достоверно, и цель состоит в том, чтобы оценить местоположение робота относительно этих ориентиров.

Структура вероятностного метода SLAM

Для упрощения в данном разделе опущены исторические переменные в формуле (1) и совместная апостери-

орная плотность вероятности для карты и местоположения робота будет обозначаться $P(x_k, m | z_k)$ или даже $P(x_k, m)$ (в некоторых случаях).

Модель наблюдения (2) делает очевидной зависимость наблюдений и от местоположения робота, и от расположения ориентиров. Из этого следует, что совместная апостериорная плотность вероятности не может быть разделена обычным способом $P(x_k, m | z_k) \neq P(x_k | z_k) P(m | z_k)$.

Тем не менее, задача SLAM имеет более сложную структуру, чем кажется.

Обратившись снова к рисунку 1, можно увидеть, что ошибка между оценённым и истинным местоположениями ориентира обуславливается в основном ошибкой в определении текущего местоположения робота. Это означает, что ошибки в оценках местоположения ориентиров являются сильно коррелированными. На практике это приводит к тому, что относительное местоположение между любыми двумя ориентирами m_i, m_j может быть известно с высокой точностью, несмотря на то что абсолютное местоположение ориентира m_i в некоторой степени неопределённо. В вероятностной форме это означает, что совместная плотность вероятности для пары ориентиров $P(m_i, m_j)$ имеет высокий пик даже в случаях, когда граничные плотности вероятности $P(m_i)$ обладают достаточно большой дисперсией.

Наиболее важным выводом в теории SLAM является то, что корреляции между оценками ориентиров монотонно возрастают с увеличением числа произведённых наблюдений. Другими словами, знание относительного месторасположения ориентиров всегда улучшается и никогда не расходится, независимо от движения робота.

В вероятностной терминологии это означает, что совместная плотность вероятности для всех ориентиров $P(m)$ становится более остроконечной с ростом числа произведённых наблюдений.

Такая сходимость является следствием того, что наблюдения, произведённые роботом, могут рассматриваться как «почти независимые» измерения относительного месторасположения между ориентирами. Снова вернёмся к рисунку 1 и рассмотрим робота в позиции x_k , наблюдающего два ориентира: m_i и m_j . Относительное расположение наблюдаемых ориентиров, очевидно, независимо от координат робота, и последовательные наблюдения из этого фиксированного месторасположения дадут дополнительные независимые измерения относительного расположения ориентиров. Теперь, когда робот перемещается в местоположение x_{k+1} , он вновь наблюдает ориентир m_j . Это позволяет обновить оценённое местоположение робота и ориентира по отношению к предыдущему местоположению x_k . В свою очередь, это справедливо и для обновления местоположения ориентира m_i , пусть даже ориентир и не наблюдается из нового местоположения. Так происходит из-за того, что два ориентира сильно коррелированы (их относительное местоположение хорошо известно) с предыдущими измерениями. Кроме того, тот факт, что те же самые измерения используются для обновления данных двух ориентиров, делает их ещё более коррелированными. Термин «почти независимое измерение» является уместным, потому что ошибки наблюдений будут коррелированными из-за последовательных перемещений робота. Также стоит обратить внимание на то, что в позиции x_{k+1} робот наблюдает два новых ориентира относительно m_j . Эти новые ориентеры, таким образом, сразу же связываются или коррелируют с остальной картой. Последующие обновления этих ориентиров будут также обновлять ориентир m_i и через него m_j , и так далее. Таким образом, все ориентеры в конечном счёте образуют сеть, связывающую относительные местоположения или корреляции, точность которых увеличивается каждый раз при произведении очередного наблюдения.

Данный процесс может быть представлен в виде сети пружин, соединяющих все ориентеры вместе (см. рис. 2). Наблюдение за соседним звеном действует как смещение в пружинной системе таким образом, что его эффект является значимым для ближайших звеньев

и в зависимости от локальной жёсткости (корреляции) уменьшается с расстоянием до других ориентиров. По мере движения робота в окружающей среде и наблюдения за ориентирами, пружины становятся всё более жёсткими, причём монотонно. В конечном итоге получается жёсткая карта ориентиров или точная относительная карта окружающей среды. Как только карта построена, точность местоположения робота ограничена только качеством карты и относительным измерением датчика. В теоретическом пределе точность относительного местоположения робота становится равной точности определения местоположения, достижимого для данной карты.

Решения задачи SLAM

Решения вероятностной задачи SLAM включают в себя нахождение соответствующего представления для модели наблюдения (2) и модели движения (3), которые позволяют эффективно и полно вычислять предыдущие и последующие распределения (4) и (5). Безусловно, наиболее полным представлением является модель пространства состояний с аддитивным гауссовым шумом, что приводит к необходимости использования расширенного фильтра Калмана (EKF). Одним из важных альтернативных подходов к решению является описание модели движения робота в (3) в виде выборок из более общего, отличного от нормального распределения вероятности. В таком случае для решения задачи используется частичный фильтр (фильтр частиц) или алгоритм FastSLAM. В то время как EKF-SLAM и FastSLAM являются наиболее важными методами решения, были предложены и другие современные методы, обладающие большим потенциалом [13].

Метод EKF-SLAM

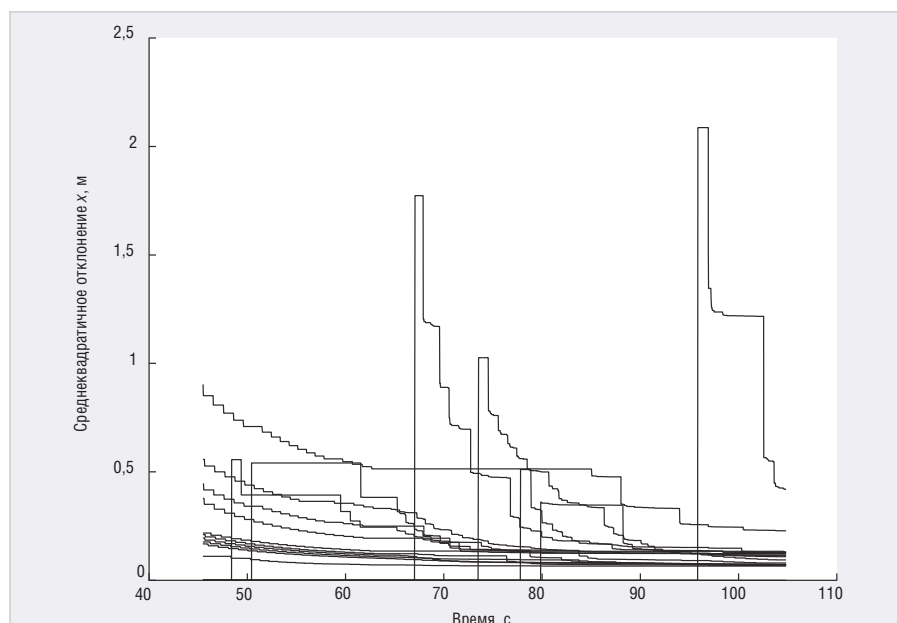
В основе метода EKF-SLAM лежит описание движения робота в форме

$$P(x_k | x_{k-1}, u_k) \Leftrightarrow x_k = f(x_{k-1}, u_k) + w_k, \quad (6)$$

где $f(\dots)$ описывает кинематическую модель робота и w_k является аддитивным, некоррелированным возмущением гауссовского движения с нулевым средним и ковариацией Q_k . Модель наблюдения описывается формулой

$$P(z_k | x_k, m) \Leftrightarrow z_k = h(x_k, m) + v_k, \quad (7)$$

где $h(\dots)$ описывает геометрию наблюдения, а v_k является аддитив-



Примечание: ориентир изначально наблюдается с неопределённостью, унаследованной от местоположения робота и наблюдения; с течением времени среднеквадратичные отклонения монотонно убывают до нижней границы

Рис. 3. Схождение неопределённости ориентиров

ной некоррелированной гауссовой ошибкой с нулевым средним и ковариацией R_k .

Таким образом, стандартный метод EKF [14] может быть применён для вычисления среднего

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{k|k} \\ \hat{m}_k \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} x_k \\ m \end{bmatrix} | Z_{0:k}$$

и ковариации совместного апостериорного распределения плотности вероятности (1)

$$P_{k|k} = \begin{bmatrix} P_{xx} & P_{xm} \\ P_{xm}^T & P_{mm} \end{bmatrix}_{k|k} = E \begin{bmatrix} (x_k - \hat{x}_k) \\ (m - \hat{m}_k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (x_k - \hat{x}_k)^T \\ (m - \hat{m}_k)^T \end{bmatrix} | Z_{0:k}$$

Используемые временное обновление и обновление наблюдения записываются следующим образом. Временное обновление:

$$\hat{x}_{k|k-1} = f(\hat{x}_{k-1|k-1}, u_k), \quad (8)$$

$$P_{xx,k|k-1} = \nabla f P_{xx,k-1|k-1} \nabla f^T + Q_k, \quad (9)$$

где ∇f — якобиан f , вычисляющий оценку $\hat{x}_{k|k-1}$. Для стационарных ориентиров временное обновление обычно не выполняется, однако оно необходимо при наличии подвижных объектов.

Обновление наблюдения:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{k|k} \\ \hat{m}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{k|k-1} \\ \hat{m}_{k-1} \end{bmatrix} + W_k \begin{bmatrix} z_k - h(\hat{x}_{k|k-1}, \hat{m}_{k-1}) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$P_{k|k} = P_{k|k-1} - W_k S_k W_k^T, \quad (11)$$

где $S_k = \nabla h P_{(k|k-1)} \nabla h^T + R_k$, $W_k = P_{(k|k-1)} \nabla h^T S_k^{-1}$, а ∇h — якобиан вычисляющий $\hat{x}_{k|k-1}$ и $\hat{m}_{k-1}$.

Данное решение задачи EKF-SLAM, его преимущества и недостатки хорошо известны. Необходимо обратить внимание на ключевые особенности этого метода.

1. В задаче EKF-SLAM сходимость карты проявляется в виде монотонной сходимости к нулю определителя ковариационной матрицы $P_{mm,k}$ карты и всех подматриц пар ориентиров. Отдельные дисперсии ориентиров сходятся к нижней границе, определяемой начальной неопределённостью в положении робота и наблюдения. Типичная сходимость дисперсий положения ориентиров показана на рисунке 3 [14].
2. После каждого наблюдения все ориентиры и совместная ковариационная матрица обновляются. Это означает, что объём вычислений растёт квадратично с ростом числа ориентиров.
3. Стандартное решение EKF-SLAM очень чувствительно к ошибочному сопоставлению наблюдений с ориентирами. Особенно сложной является задача «закрытия петли», когда робот возвращается для повторного наблюдения ориентиров после длительного «путешествия». Проблема сопоставления усугубляется в окружающей среде, где ориентиры не являются точечными объектами, а заметно отличаются при рассмотрении с различных углов обзора.
4. Метод EKF-SLAM использует линейаризованные модели нелинейных пере-

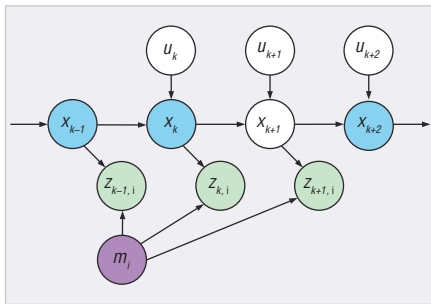
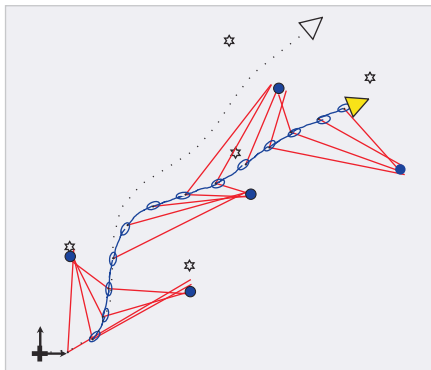


Рис. 4. Графическая модель алгоритма SLAM



Примечание: эллипсами показаны заявленные распределения для каждой стадии обновления, из которых производятся выборка позиций робота и обновление наблюдений ориентиров; множество таких траекторий представляет собой вероятностную модель местоположения робота

Рис. 5. Реализация траектории робота в алгоритме FastSLAM

мещений и модели наблюдения. Нелинейность может быть существенной проблемой в EKF-SLAM и приводит к неустойчивому решению. Сходимость и устойчивость могут быть гарантированы только для линейного случая.

Частичный фильтр

Алгоритм FastSLAM, представленный Монтемерло и коллегами [15], стал концептуальным прорывом в разработке рекурсивного вероятностного метода SLAM. Предыдущие усилия были направлены на повышение производительности EKF-SLAM, сохраняя при этом необходимость в линейных гауссовских предположениях. Метод FastSLAM, основанный на рекурсивной выборке по методу Монте-Карло или частичной фильтрации, был первым алгоритмом, работающим с нелинейной моделью процесса и отличным от нормального распределения. Несмотря на то, что FastSLAM так же линеаризует модель наблюдения, это, как правило, является допустимым приближением для азимутально-диапазонных измерений, когда позиция робота известна.

Большая размерность пространства состояний задачи SLAM делает прямое использование частичных фильтров сложно реализуемым с точки зрения вычислительных затрат. Однако, возможно сократить выборочное множество, разделив его на части в соответствии с правилом умножения $P(x_1, x_2) = P(x_2 | x_1) \times P(x_1)$, и если $P(x_2 | x_1)$ может быть представлена аналитически, то только $P(x_1)$ должна быть сэмплирована — $x_1^{(i)} \sim P(x_1)$. Следовательно, совместное распределение представляет собой множество $\{x_1^{(i)}, P(x_2 | x_1) \times P(x_1)\}$ и статистический предел

$$(x_2) \approx \frac{1}{N} \sum_i P(x_2 | x_1^{(i)})$$

вычисляется с большей точностью, чем при выборке совместного пространства.

Совместное состояние SLAM может быть факторизовано в компонент робота и компонент условной карты:

$$P(X_{0:k}, m | Z_{0:k}, U_{0:k}, x_0) = P(m | X_{0:k}, Z_{0:k}) P(X_{0:k} | Z_{0:k}, U_{0:k}, x_0), \quad (12)$$

Здесь используется распределение плотности вероятности по траектории $X_{0:k}$, а не в единственном положении x_k , т.к. в случае траектории карта ориентиров становится независимой (см. рис. 4). Это ключевое свойство алгоритма FastSLAM и является причиной высокой скорости его работы. Карта представляется в виде множества независимых гауссиан с линейной сложностью, а не совместной картой ковариации с квадратичной сложностью.

Фундаментальная структура FastSLAM представляет собой состояние, где траектория представлена взвешенной выборкой и карта вычисляется аналитически. Так, совместное распределение в момент времени k представляется множеством $\{w_k^{(i)}, X_{0:k}^{(i)}, P(m | X_{0:k}^{(i)}, Z_{0:k})\}_i^N$, где карта, сопутствующая каждой частице, состоит из независимых нормальных распределений

$$P(m | X_{0:k}^{(i)}, Z_{0:k}) = \prod_j P(m_j | X_{0:k}^{(i)}, Z_{0:k}).$$

Частичная фильтрация для состояния положения выполняется рекурсивно, затем для состояний карты применяется EKF. Каждый наблюдаемый ориентир обрабатывается индивидуально как обновление измерения EKF из известной позиции (см. рис. 5). Положение наблюдаемых ориентиров не изменяется.

Рассмотрим обобщенную форму частичного фильтра для SLAM. В момент времени $k-1$ совместное состояние представляется как $\{w_{k-1}^{(i)}, X_{0:k-1}^{(i)}, P(m | X_{0:k-1}^{(i)}, Z_{0:k-1})\}_i^N$. Затем выполняются следующие действия:

1. Для каждой частицы вычисляется заявленное распределение, обусловленное историей конкретной частицы, и получается выборочное значение:

$$x_k^{(i)} \sim \pi(x_k | X_{0:k-1}^{(i)}, Z_{0:k}, u_k). \quad (13)$$

Полученная новая выборка является (неявно) присоединенной к истории частицы.

2. Выборки взвешиваются в соответствии с функцией важности:

$$w_k^{(i)} = w_{k-1}^{(i)} \frac{P(z_k | X_{0:k}^{(i)}, Z_{0:k-1}) P(x_k^{(i)} | X_{k-1}^{(i)}, u_k)}{\pi(x_k^{(i)} | X_{0:k-1}^{(i)}, Z_{0:k}, u_k)}. \quad (14)$$

Члены в числителе этого выражения представляют собой модели наблюдения и движения соответственно. Первый отличается от (2) вследствие того, что частичный фильтр требует ограниченности на карте.

$$P(z_k | X_{0:k}, Z_{0:k-1}) = \int P(z_k | x_k, m) P(m | X_{0:k-1}, Z_{0:k-1}) dm. \quad (15)$$

3. В случае необходимости формируется новая выборка. В одних реализациях повторная выборка делается на каждой итерации, в других — после фиксированного числа итераций, в третьих — если вес дисперсии превышает некоторое пороговое значение. Повторная выборка осуществляется путём выбора частиц с удалением их из множества $\{X_{0:k}^{(i)}\}_i^N$, включая связанные с ними карты, с вероятностью выбора, пропорциональной $w_k^{(i)}$. Выбранные частицы равно взвешиваются на величину $1/N$.
4. Для каждой частицы выполняется обновление EKF на наблюдаемых ориентирах, т.е. производится построение карты с известной позицией робота.

В литературе описаны две версии FastSLAM — версии 1.0 [17] и 2.0 [18]. Они различаются только членами в форме их заявленного распределения (шаг 1) и, следовательно, в весах важности (шаг 2). Версия FastSLAM 2.0 является более эффективным решением.

Для FastSLAM 2.0 заявленное распределение включает текущее наблюдение

$$x_k^{(i)} \sim P(x_k | X_{0:k-1}^{(i)}, Z_{0:k}, u_k), \quad (16)$$

где

$$P(x_k | X_{0:k-1}^{(i)}, Z_{0:k}, u_k) = \frac{1}{C} P(z_k | x_k, X_{0:k-1}^{(i)}, Z_{0:k-1}) P(x_k | X_{k-1}^{(i)}, u_k)$$

и C является нормализованной константой. Распределение весов в зависимости от важности в соответствии с (14) есть $w_k^{(i)} = w_{k-1}^{(i)} C$. Преимуществом FastSLAM 2.0 является то, что его заявленное распределение является локально оптимальным. Для каждой частицы это даёт наимень-

шую возможную дисперсию в значимом взвешивании $w_k^{(i)}$, зависящую от доступной информации $X_{0:k-1}^{(i)}$, $Z_{0:k}$ и $U_{0:k}$.

Статистически обе версии FastSLAM подвержены вырождению из-за их неспособности «забыть прошлое». Ограничение карты в (15) зависит от истории положения и измерения и при повторной выборке истощает эту историю, статистическая точность теряется. Тем не менее, эмпирические результаты FastSLAM 2.0 в реальных условиях внешней среды [18] показали, что алгоритм способен генерировать достаточно точную карту.

Реализация SLAM

Эксперимент «исследуй и возвращайся», проведённый Ньюманом с группой исследователей [19], являлся среднemasштабной реализацией метода внутри помещения, который подтвердил нерасходимость свойств EKF-SLAM возвращением робота точно в исходную точку. Эксперимент был примечателен тем, что возвращение было полностью автономным. Робот управлялся вручную в исследовательской фазе, хотя и без визуального контакта с оператором, который полагался исключительно на построенную в реальном времени роботом карту. На обратном пути робот планировал маршрут и возвращался в исходную точку без вмешательства человека. Гайвант и Небот [20] впервые применили SLAM на большом открытом пространстве. В данной работе были изучены вопросы проведения вычислений в реальном времени при работе с высокоскоростным движением транспортного средства по пересечённой местности с динамическими препятствиями. Представленные результаты особенно интересны, поскольку они сопровождаются точными координатами, полученными с помощью технологии RTK-GPS, и показали практическую работоспособность алгоритма.

В настоящее время приложения SLAM задействованы в самых различных областях и используют такие методы зондирования, как «только азимут» [21] и «только расстояние» [22].

Также следует упомянуть и о методе последовательной оценки положения (Consistent Pose Estimation, CPE) [23], который представляет собой другую парадигму SLAM, основанную на топологическом построении карты и выравнивании данных. Данный метод показывает отличные результаты внутри больших помещений.

Библиотеки, реализующие алгоритмы SLAM, на сегодняшний день доступ-

ны для множества языков программирования, а также в специализированной операционной системе для роботов ROS. Реализации различных алгоритмов SLAM с использованием различных языков программирования и программных сред, а также наборы данных, полученные с реальных датчиков, можно найти в свободном доступе [25]. Реальные данные являются ценным ресурсом для оценки и сравнения с эталоном различных алгоритмов SLAM.

Заключение

В настоящее время, помимо представленных в статье базовых методов, используются усовершенствованные алгоритмы, позволяющие повысить точность и сократить требуемые вычислительные затраты. В последующих публикациях планируется рассмотреть различные особенности метода SLAM, широко применяемого в автономных мобильных робототехнических системах.

Литература

1. <http://robotosha.ru/robotics/how-it-works-driverless-car-google.html>
2. www.neatorobotics.com
3. Smith R., Cheesman P. On the representation of spatial uncertainty. Int. J. Robot. Res., vol. 5, no. 4, pp. 56–68, 1987.
4. Durrant-Whyte H.F. Uncertain geometry in robotics. IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 4, no. 1, pp. 23–31, 1988.
5. Ayache N., Faugeras O. Building, registering, and fusing noisy visual maps. Int. J. Robot. Res., vol. 7, no. 6, pp. 45–65, 1988.
6. Crowley J. World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging. Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., 1989, pp. 674–681.
7. Chatila R., Laumond J.P. Position referencing and consistent world modeling for mobile robots. Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., 1985, pp. 138–143.
8. Smith R., Self M., Cheesman P. Estimating uncertain spatial relationships in robotics. Autonomous Robot Vehicles, I.J. Cox and G.T. Wilfon, Eds. New York: Springer-Verlag, pp. 167–193, 1990.
9. Renken W.D. Concurrent localization and map building for mobile robots using ultrasonic sensors. Proc. IEEE Int. Workshop Intell. Robots Syst. (IROS), 1993.
10. Durrant-Whyte H., Rye D., Nebot E. Localization of automatic guided vehicles. Robotics Research: The 7th International Symposium (ISRR'95), G. Giralt and G. Hirzinger, Eds. New York: Springer-Verlag, pp. 613–625, 1996.

11. Hollerbach J., Koditschek D. Robotics Research, The Ninth International Symposium (ISRR'99). New York: Springer-Verlag, 2000.
12. Thrun S., Fox D., Burgard W. A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots. Mach. Learning, vol. 31, no. 1, pp. 29–53, 1998.
13. Thrun S., Liu Y., Koller D., Ng A., Durrant-Whyte H. Simultaneous localization and mapping with sparse extended information filters. Int. J. Robot. Res., vol. 23, no. 7–8, pp. 693–716, 2004.
14. Dissanayake G., Newman P., Durrant-Whyte H.F., Clark S., Csobza M. A solution to the simultaneous localization and mapping (SLAM) problem. IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 17, no. 3, pp. 229–241, 2001.
15. Montemerlo M., Thrun S., Koller D., Wegbreit B. Fast-SLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. Proc. AAAI Nat. Conf. Artif. Intell., 2002, pp. 593–598.
16. Doucet A. On sequential simulation-based methods for Bayesian filtering. Dept. Eng., Cambridge Univ., Tech. Rep., 1998.
17. Montemerlo V., Thrun S., Koller D., Wegbreit B. Fast-SLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. Proc. AAAI Nat. Conf. Artif. Intell., 2002, pp. 593–598.
18. Montemerlo V., Thrun S., Koller D., Wegbreit B. Fast-SLAM 2.0: An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges. Proc. Int. Joint Conf. Artif. Intell., 2003, pp. 1151–1156.
19. Newman P.M., Leonard J.J., Neira J., Tardos J. Explore and return: Experimental validation of real time concurrent mapping and localization. Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., 2002, pp. 1802–1809.
20. Guivant J.E., Nebot E.M. Optimization of the simultaneous localization and map-building algorithm for real-time implementation. IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 17, no. 3, pp. 242–257, 2001.
21. Deans M., Hebert M. Experimental comparison of techniques for localization and mapping using a bearing-only sensor. Proc. Int. Symp. Experimental Robot., 2000, pp. 395–404.
22. Leonard J.J., Rikoski R.J., Newman P.M., Bosse M.C. Mapping partially observable features from multiple uncertain vantage points. Int. J. Robot. Res., vol. 21, no. 10–11, pp. 943–975, 2002.
23. Konolig K. Large-scale map-making. Proc. Nat. Conf. AI (AAAI), 2004, pp. 457–463.
24. www.ros.org
25. www.openslam.org

Особенности конструкции и изготовления силовых МОП-транзисторов для космической электроники

Владимир Котов (vladimir.k@micronica-msq.com),
Владимир Токарев (vvtokarev55@gmail.com)

В статье рассмотрены особенности технологических процессов изготовления и конструкции мощных МОП-транзисторов, используемых в космической силовой электронике.

Электронные приборы и системы, работающие в космическом пространстве, подвергаются непрерывному воздействию дестабилизирующих излучений (ДИ): протонов, электронов и тяжёлых ионов. Радиоактивное облучение этих систем создаёт серьёзные проблемы в бортовой электронике, составной частью которой являются мощные МОП-транзисторы с изолированным затвором (MOSFET – Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor), используемые в качестве основных ключевых элементов в электронных преобразовательных системах, включая системы бортового питания. Основными преимуществами мощных МОП-транзисторов по сравнению с другими ключевыми элементами являются высокое быстродействие, а также низкое сопротивление в открытом состоянии и потребляемая мощность в цепи управления [1].

Можно выделить два основных класса радиационных эффектов, которые могут произойти в мощных МОП-транзисторах во время или после воздействия ДИ (см. табл.):

1. Эффекты накопленной дозы (TID effects).
2. Эффекты, вызванные воздействием одиночных ионизирующих частиц (SEE – Single Event Effects) – высокоэнергетических тяжёлых ионов и

протонов (ТЗЧ – тяжёлых заряженных частиц).

Эффекты накопленной дозы связаны с ионизацией вещества излучением, т.е. с образованием под действием ДИ свободных носителей заряда [2], захват которых на ловушках в объёме облучаемого материала может привести к накоплению заряда в различных областях приборных структур (как правило, это различные диэлектрические слои) и вызвать деградацию параметров транзисторов. Кроме того, вследствие ионизационных эффектов в активных и пассивных областях транзисторов могут возникать импульсы ионизационных токов, которые могут привести к различным эффектам как обратимого (импульсные сигналы помех на выходах транзисторов), так и необратимого характера (вторичный пробой, пробой подзатворного диэлектрика).

Воздействие одиночных ионизирующих частиц (ОИЧ) приводит как к ионизации вещества вдоль трека одиночной частицы, так и к эффектам смещения из-за прямого взаимодействия с атомом материала транзисторов и выбивания его из узла решётки при сообщении ему некоторой энергии, а также вторичного взаимодействия выбитого атома с соседними (при этом может иметь место каскад атомных соударений, сопровождающийся вторич-

ными смещениями атомов), что также может приводить к ионизации вещества. В результате воздействия ОИЧ на мощный МОП-транзистор может произойти катастрофический отказ, вызванный перегоранием транзистора (SEB – Single Event Burnout) или пробоем подзатворного диэлектрика (SEGR – Single Event Gate Rupture) [3]. Чтобы избежать отказов мощных МОП-транзисторов, вызванных воздействием ОИЧ, проводится оценка их устойчивости к данным воздействиям путём соответствующих испытаний, например согласно методу 1080 стандарта MIL-STD-750 [4]. При этом данная оценка может носить приблизительный характер ввиду сложного реального энергетического спектра космического пространства.

Создание современных мощных МОП-транзисторов, менее чувствительных к ДИ космического пространства, сочетает в себе как технологические, так и конструктивные методы повышения стойкости, а также моделирование влияния дестабилизирующих излучений на этапе разработки технологии производства и конструкции транзисторов с помощью модуля моделирования воздействия ТЗЧ, встроенного в программу двумерного технологического и приборного моделирования TCAD Synopsys.

К технологическим методам относятся как разработка специализированных техпроцессов изготовления транзисторов, так и улучшение радиационных свойств слоёв и материалов, входящих в их конструкцию. В настоящее время это технология «кремний на карбиде кремния», специализированные операции создания диэлектрических слоёв и, в особенности, подзатворного диэлектрика и т.п. К конструктивным способам повышения стойкости относятся использование специальных корпусов, методов локальной защиты и т.п.

Целью данной статьи является обсуждение особенностей технологических процессов производства и конструкции мощных МОП-транзисторов космической силовой электроники, большин-

Классификация радиационных эффектов в мощных МОП-транзисторах

Класс радиационного эффекта	Тип воздействия	Особенности воздействия
Накопленная доза	Изменение поверхностных свойств, появление импульсов ионизационных токов	● эффект накопления деградации электрических параметров структур; ● воздействие на всю площадь транзистора; ● характеризуется максимальным изменением параметра (критерием отказа)
Воздействие одиночных ионизирующих частиц	Изменение проводимости полупроводника, изменение свойств диэлектриков	● вероятностное во времени событие; ● короткое время воздействия (<1 нс); ● воздействие на небольшую часть элемента транзистора (позиция трека ОИЧ); ● характеризуется вероятностью/частотой эффекта

ство из которых используется в транзисторах как 4-го, так и 5-го и 7-го поколений, разработанных компанией «СКТБ „Микроника“» совместно с ООО «Тандем Электроника» (г. Воронеж, официальный представитель СКТБ «Микроника» в РФ) [5].

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ К НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЕ

В большинстве случаев эффекты накопления заряда в мощных МОП-транзисторах проявляются в постепенном ухудшении его электрических параметров из-за увеличения заряда в подзатворном диэлектрике, что приводит к изменению порогового напряжения и увеличению токов утечки транзистора.

Для всех типов технологий мощных МОП-транзисторов ключевыми моментами техпроцесса, увеличивающими стойкость к накопленной дозе, являются:

- уменьшение толщины подзатворного оксида t_{ox} . Сдвиг порогового напряжения в результате накопления заряда в окисле и на границе раздела «оксид кремния – кремний» составляет $t_{ox}^{1,5-1,8}$ для оксидов, используемых в коммерческих технологиях, причём для пирогенного оксида сдвиг, обусловленный накоплением заряда в окисле, в 1,5...2 раза меньше, чем для оксида, выращенного в сухом кислороде [6];
- уменьшение температуры отжига в атмосфере азота подзатворного оксида кремния, которая должна быть не более +850...+875°C [7] с целью предотвращения создания дополнительных ловушек заряда, а также уменьшение температуры и времени высокотемпературных обработок после создания подзатворного диэлектрика;
- использование альтернативного подзатворного диэлектрика: перекисленного азотированного оксида (RNO – Reoxidized Nitrided Oxide) [8] или оксида гафния [9, 10].

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ К SEGR

Для создания мощного МОП-транзистора, устойчивого к эффекту пробоя подзатворного диэлектрика при воздействии ТЗЧ, необходимо выполнение следующего условия: падение напряжения на подзатворном диэлектрике вдоль ионизационного трека ТЗЧ должно быть меньше критиче-

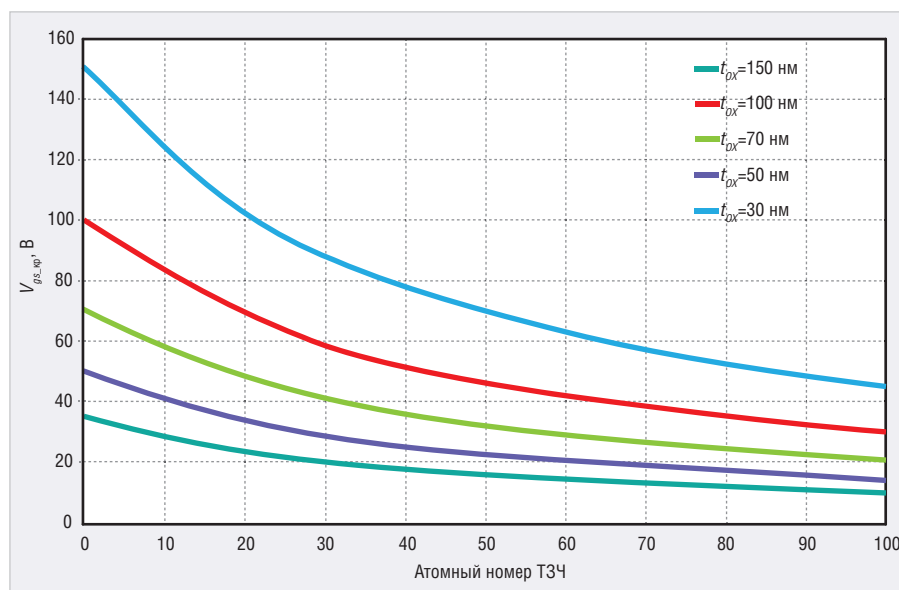


Рис. 1. Зависимость критического напряжения на затворе $V_{gs_кр}$ от атомного номера ТЗЧ для разной толщины подзатворного оксида

ского напряжения $V_{gs_кр}$ (измеряется в В), определяемого по формуле Titus-Wheatley [11] для диэлектрика из SiO_2 , при условии воздействия ТЗЧ перпендикулярно поверхности подзатворного оксида:

$$V_{gs_кр} = E_{BD} \times t_{ox} / (1 + Z/44), \quad (1)$$

где E_{BD} – напряжённость электрического поля, В/см; t_{ox} – толщина подзатворного оксида, см; Z – атомный номер ТЗЧ.

Зависимость критического напряжения $V_{gs_кр}$ от атомного номера ТЗЧ для разной толщины подзатворного оксида, рассчитанная с использованием выражения (1), представлена на рисунке 1 [11].

Когда ТЗЧ пересекает эпитаксиальный слой в JFET-области (между областями Р-базы (см. рис. 2)) планарного вертикального МОП-транзистора (VDMOS – Vertical Diffusion Metal Oxide Semiconductor), созданный ею ионизированный трек шунтирует JFET-область и тем самым подсоединяет границу раздела «подзатворный диэлектрик – эпитаксиальный слой» к более высокому напряжению стока $V_{COUPLED}$ (см. рис. 3). Электрическое поле, вызванное этим напряжением, суммируется с уже имеющимся, что при превышении предела для используемого диэлектрика приведёт к его пробоя.

Эмпирическая зависимость напряжения $V_{COUPLED}$ от линейной потери энергии (ЛПЭ, LET – Linear energy transfer) ТЗЧ для мощного МОП-транзистора с эпитаксиальным слоем толщи-

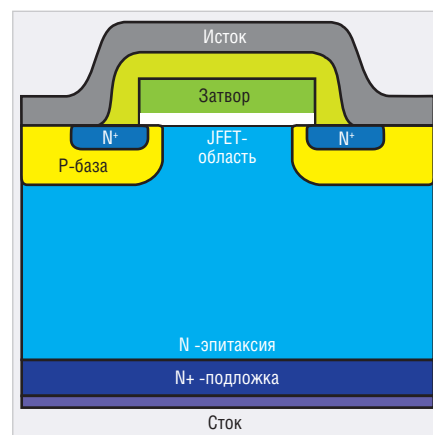


Рис. 2. Упрощённое поперечное сечение ячейки VDMOS

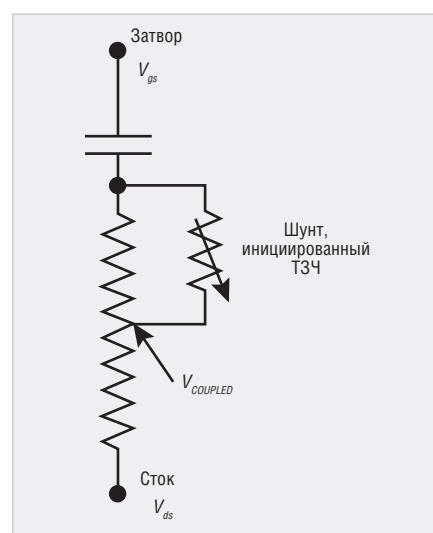


Рис. 3. Упрощённая модель шунтирования JFET-области транзистора при воздействии ТЗЧ

ной 7 мкм и глубиной Р-базы 2 мкм (см. рис. 4) представлена в работе [12]. Утверждается, что данная зависимость

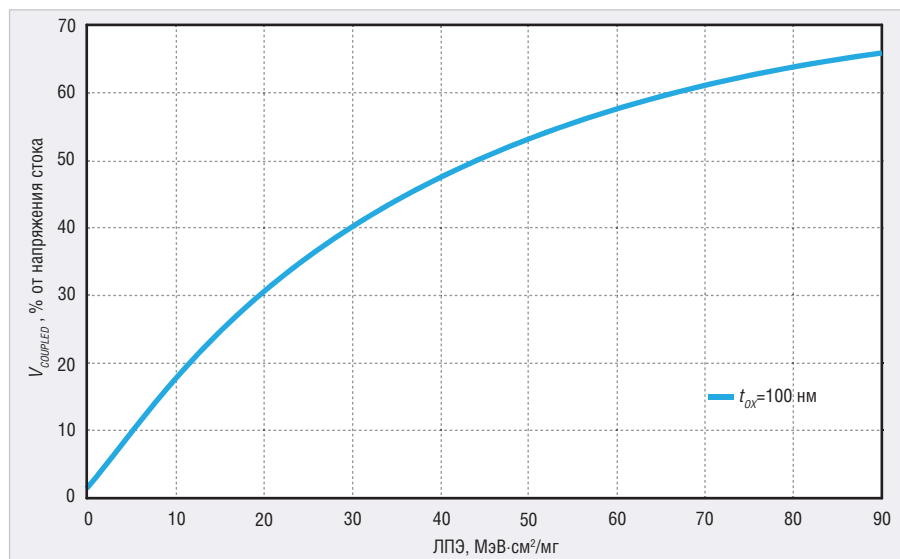


Рис. 4. Эмпирическая зависимость напряжения $V_{COUPLED}$ в % от напряжения сток – исток от ЛПЭ (LET)

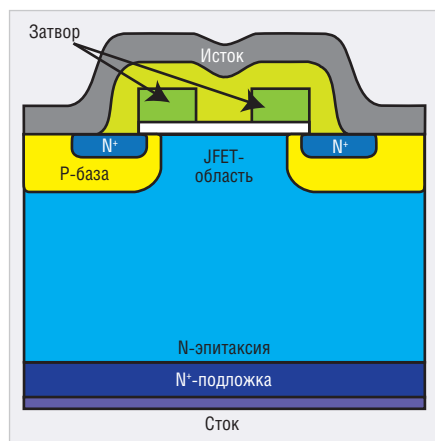


Рис. 5. Вид ячейки VDMOS с удалённой частью затвора

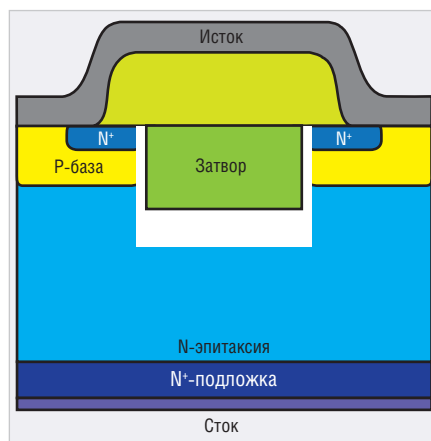


Рис. 6. Вид ячейки trench-MOS с утолщённым окислом на дне канавки

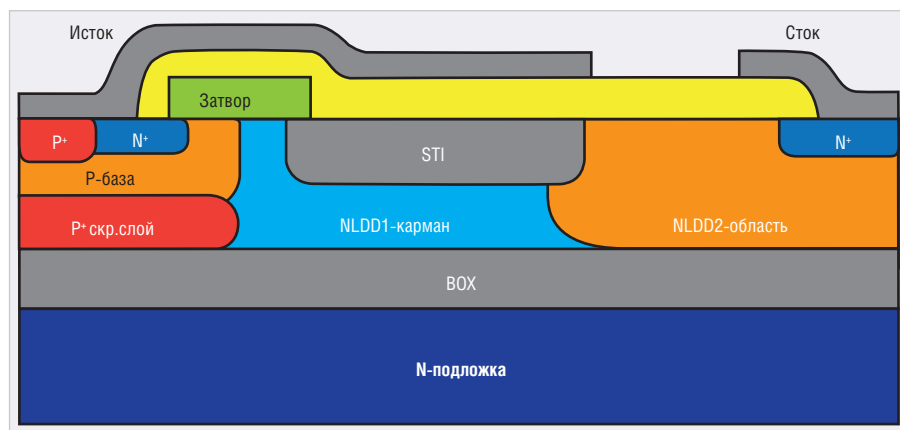


Рис. 7. Поперечный разрез структуры SOI LNDMOS-транзистора

будет определяться шириной (расстоянием между P-базами) и уровнем легирования JFET-области, глубиной и концентрацией примеси в базе, параметрами эпитаксиальной структуры.

Одним из первых способов увеличения стойкости мощных МОП-транзисторов к SEGR является использование полосковой структуры затвора

(Strip Cell) вместо сотовой (гексагональной, квадратной и пр.) [13] и оптимизация ширины JFET-области транзистора в сторону уменьшения. Причём преимущества полосковой структуры наиболее проявляются для напряжений сток – исток выше 40 В, при которых зависимость критического напряжения на затворе от напряжения на сто-

ке стремится к насыщению, тогда как для сотовой структуры затвора характер этой зависимости не изменяется.

Для МОП-транзисторов с большой длиной затвора уменьшить вероятность наступления SEGR-отказа позволяет удаление (вырезание) центральной части затвора, которая не участвует в работе транзистора (см. рис. 5) [14]. Причём для области подзатворного диэлектрика, над которой удалён затвор, по данным работы [14], критическое напряжение увеличивается, например с 17 до 27 В. Следует отметить, что данный способ усложняет технологический процесс, так как требует защиты открытой части подзатворного окисла от нежелательных воздействий технологического процесса.

В мощных МОП-транзисторах с канавочной структурой увеличение устойчивости к SEGR достигается за счёт использования толстого окисла на дне канавки, причём граница этого окисла должна быть как можно ближе к границе P-базы (см. рис. 6).

Существенное улучшение стойкости к SEGR достигается в горизонтальных мощных МОП-транзисторах на КНИ-подложке (SOI LNDMOS-транзисторы), в которых ионизированный трек от воздействия ТЗЧ физически не может проходить через подзатворный диэлектрик и большую часть стока транзистора. В такой структуре (см. рис. 7) STI-изоляция (Shallow Trench Isolation, изоляция мелкими канавками) играет роль дополнительного «экрана» и прерывает ионизированный трек от ТЗЧ, летящих под углом к поверхности подзатворного диэлектрика. Транзисторы данного типа с рабочим напряжением 150 В, изготовленные по 0,35 мкм технологии, имеют на 10–15% большее значение сопротивления канала в открытом состоянии, чем классические вертикальные МОП-транзисторы, изготовленные по радиационно стойкой технологии, но в то же время они устойчивы к SEGR во всём рабочем диапазоне напряжений стока и затвора и у них на порядок меньше заряд затвора и время восстановления [15]. Основным недостатком данной структуры является снижение пробивного напряжения сток – исток от накопленной дозы по причине накопления заряда в скрытом окисле (BOX – Buried OXide) и STI-изоляции. В связи с тем что, по данным работы [16], основной вклад в снижение пробивного напряжения вносит накопление заряда в скрытом окисле, использование SiC-подложки

N-типа вместо SOI-структуры значительно увеличивает стойкость LNDMOS-транзисторов к TID.

Повышение стойкости к SEB

Известно, что стойкость к SEB для МОП-транзисторов определяется их устойчивостью к вторичному пробоя [17], который происходит при включении паразитного NPN-транзистора (N-сток – P-база – N-исток). Когда транзистор находится в нормальном закрытом состоянии, при напряжении, превышающем напряжение вторичного пробоя, ток, образующийся вследствие рассасывания зарядов ионизированного трека после воздействия ТЗЧ, может быть достаточным для включения паразитного NPN-транзистора и тем самым перевода транзистора из нормально закрытого состояния в состояние вторичного пробоя и его выгорания. Вторичный пробой хорошо моделируется программой TCAD Synopsys, в связи с чем значительно упрощается разработка технологического процесса и конструкции МОП-транзистора, устойчивого к SEB.

К основным практическим и экспериментально подтверждённым приёмам, увеличивающим напряжение вторичного пробоя мощных вертикальных МОП-транзисторов для космической электроники, относятся:

- уменьшение паразитного сопротивления P-базы посредством создания глубокого P⁺⁺-слоя в области контакта к базе и P⁺⁺-слоя под областью N⁺ истока (см. рис. 8);
- выращивание N⁺-буферного эпитаксиального слоя между низкоомной подложкой и приборным N-эпитаксиальным слоем (см. рис. 8) [17, 18];

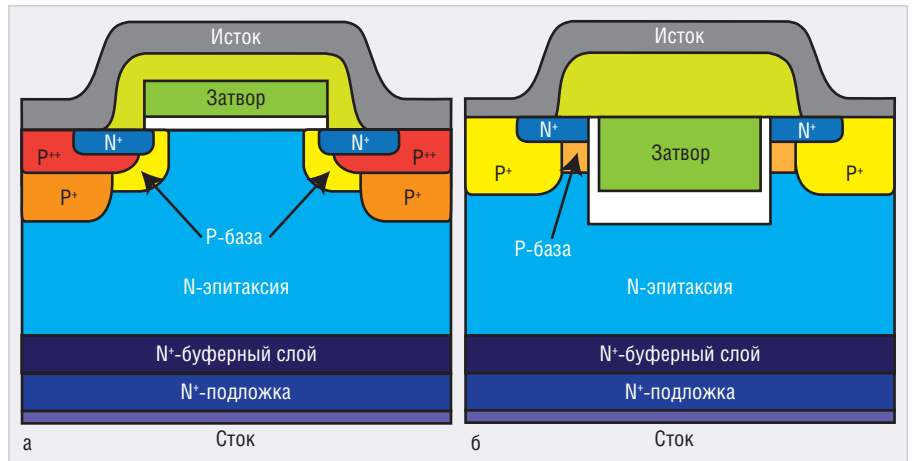


Рис. 8. Вид ячейки МОП-транзистора с повышенной стойкостью к вторичному пробоя:

а) планарного; б) с канавочной структурой

- оптимизация топологии N⁺-истоковых областей.

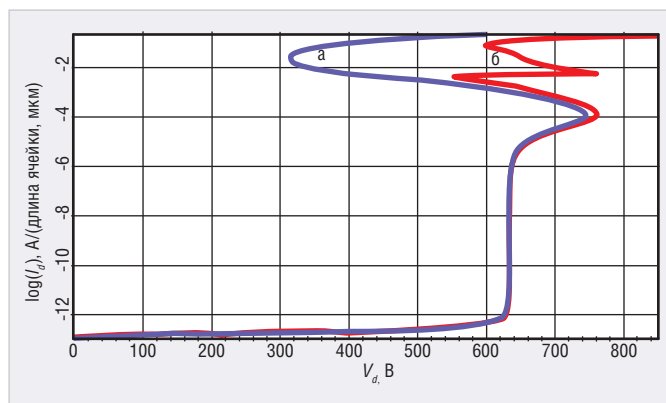
Если уменьшение паразитного сопротивления P-базы широко используется для коммерческих приборов с целью увеличения их стойкости к лавинному пробоя, то применение N⁺-буферного эпитаксиального слоя позволяет дополнительно существенно увеличить напряжение вторичного пробоя. Из рисунка 9 видно, что для ячейки 600 В планарного МОП-транзистора использование N⁺-буферного эпитаксиального слоя увеличивает напряжение вторичного пробоя с 320 до 550 В.

Следует отметить, что толщина и концентрация примеси в N⁺-буферном эпитаксиальном слое зависят от рабочего напряжения транзистора. По результатам моделирования исследованной ячейки 600 В МОП-транзистора с увеличением толщины (Т) N⁺-буферного эпитаксиального слоя напряжение вторичного лавинного пробоя увеличивается и стремится к насыщению (см. рис. 10): при условии

$T1 < T2 = 2 \times T1 < T3 = 3 \times T1 < T4 = 4 \times T1$ напряжение вторичного пробоя составляет 430, 520, 545, 555 и 565 В соответственно. Зависимость напряжения вторичного лавинного пробоя от удельного сопротивления (R) N⁺-буферного эпитаксиального слоя имеет максимум, что видно из анализа данных, представленных на рисунке 11: максимальное напряжение 520 В получено для условия $1,25 \times R1$.

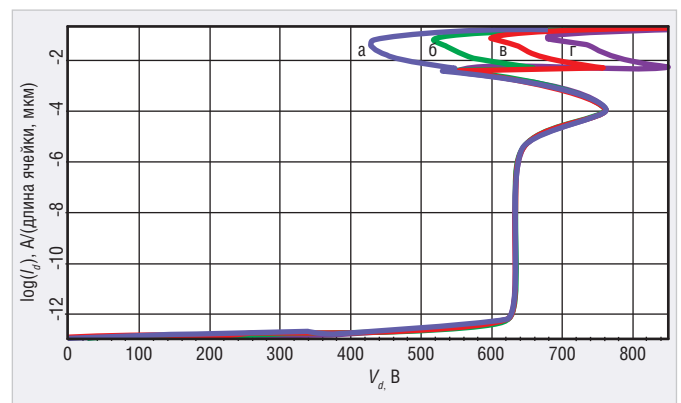
Оптимизация топологии и техпроцесса формирования N⁺-истоковых областей также предназначена для снижения влияния паразитного NPN-транзистора за счёт уменьшения паразитного сопротивления P-базы и эффективности коллектора паразитного транзистора. Она обычно включает в себя формирование шунтов между областями контакта с P-базой и областью P-базы под затвором (см. рис. 12), а также уменьшение дозы легирования N⁺-истоков [18].

Следует отметить, что все описанные методы, в том числе использование N⁺-буферного эпитаксиального слоя,



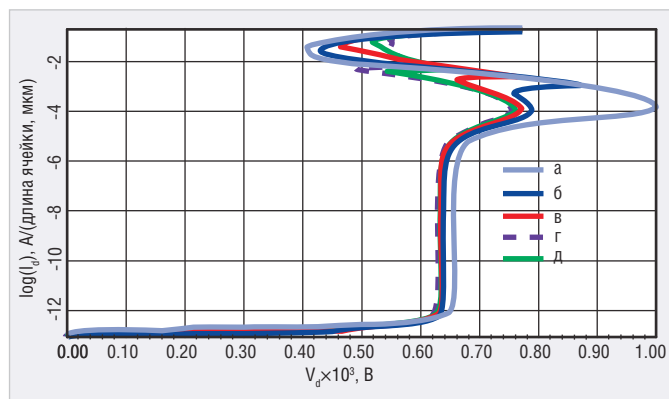
Примечание: I_d – ток стока, V_d – напряжение стока

Рис. 9. Вид характеристики лавинного пробоя ячейки планарного МОП-транзистора: а) без N⁺-буферного эпитаксиального слоя; б) с N⁺-буферным эпитаксиальным слоем



Примечание: I_d – ток стока, V_d – напряжение стока

Рис. 10. Вид характеристики лавинного пробоя ячейки планарного МОП-транзистора с различной толщиной (Т) N⁺-буферного эпитаксиального слоя: а) T1; б) 2×T1; в) 3×T1; г) 4×T1



Примечание: I_d – ток стока, V_g – напряжение стока

Рис. 11. Вид характеристики лавинного пробоя ячейки планарного МОП-транзистора с различным удельным сопротивлением (R) N^+ -буферного эпитаксиального слоя: а) $42 \times R_1$, б) $4,2 \times R_1$, в) $2,1 \times R_1$, г) $1,25 \times R_1$, д) R_1

увеличивают сопротивление транзистора в открытом состоянии, поэтому разработчики приборов всегда вынуждены находить компромисс между требуемым уровнем стойкости к SEB, электрическими параметрами и площадью кристалла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные ключевые приёмы, используемые в технологии изготовления и в конструкции мощных МОП-транзисторов, позволяют повысить их стойкость к воздействию ДИ космического пространства. Применение моделирования воздействия ТЗЧ на критические области транзистора на этапе его разработки с помощью специального программного модуля, встроенного в TCAD Synopsys, позволяет существенно сократить цикл разработки изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Силовые полупроводниковые приборы. / Пер. с англ. под ред. В.В. Токарева. – Воронеж: Элист, 1995.
2. Schwank J. Total Dose Effects in MOS Devices // Radiation Effects – From Particles to Payloads. IEEE NSREC Short Course. 2002.
3. Titus J.L., Wheatley C.F. Experimental studies of single event gate rupture and burnout

- in vertical power MOSFETs. IEEE Trans. Nucl. Sci. Apr. 1996. V. 43.
4. Method 1080.1. Single-Event Burnout and Single-Event Gate Rupture, Defense Logistics Agency (DLA) Land and Maritime MIL-STD-750F. Jan. 3. 2012.
5. Сайт ООО «Тандем Электроника»: <http://te.vrn.ru/index.html>
6. Schwank J.R., Shaneyfelt M.R., Fleetwood D.M., Felix J.A., Dodd P.E., Paillet P., Ferlet-Cavrois V. Radiation effects in MOS oxides // IEEE Trans. Nucl. Sci. Aug. 2008. V. 55. № 4.
7. Танево К.И., Улимов В.Н., Членов А.М. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения. – М.: Лаборатория знаний, 2012.
8. Lucovsky G., Fleetwood D.M., Lee S. et al. Differences between charge trapping states in irradiated nano-crystalline HfO and non-crystalline Hf silicates // IEEE Trans. Nucl. Sci. Dec. 2006. V. 53. № 6.
9. Manchanda L., Weber G.R., Kim Y.O., Feldman L.C. et al. A new method to fabricate thin oxynitride/oxide gate dielectric for deep submicron devices // Microelectron. Eng., Aug. 1993. V. 22. № 1–4.
10. Dunn G.L., Wyatt P.W. Reoxidized nitrided oxide for radiationhardened MOS devices // IEEE Trans. Nucl. Sci. Dec. 1989. V. 36. № 6.
11. Titus J.L., Wheatley C.F., Tyne K.M. et al. Effect of ion energy upon dielectric breakdown of the capacitor response in

vertical power MOSFETs // IEEE Trans. Nucl. Sci. Dec. 1998. V. 45. № 6.

12. Wheatley C.F., Titus J.L., Burton D.I. Single-event gate rupture in vertical power MOSFETs: An original empirical expression // IEEE Trans. Nucl. Sci. Dec. 1994. V. 41. № 6.
13. Savage M.W., Burton D.I., Wheatley C.F., Titus J.L., Gillberg J.E. An improved stripe-cell SEGR hardened power MOSFET technology // IEEE Transactions on Nuclear Science. Dec. 2001. V. 48. № 6.
14. Allenspach M., Dachs C., Johnson G.H. et al. SEGR and SEB in N-Channel Power MOSFETs // IEEE Transactions on Nuclear Science. Dec. 1996. V. 43. № 6.
15. Shea P.M., Shen Z.J. Numerical and Experimental Investigation of Single Event Effects in SOI Lateral Power MOSFETs // IEEE Trans. Nucl. Sci., Dec. 2011. V. 58. № 6.
16. Ali K.B., Gammon P.M., Chan C.W. et al. Single event effects and total ionising dose in 600V Si-on-SiC LDMOS transistors for rad-hard space applications // Solid-State Device Research Conference (ESSDERC). 2017 47th European.
17. Liu S., Boden M., Girdhar D.A., Titus J.L. Single-event burnout and avalanche characteristics of power DMOSFETs // IEEE Trans. Nucl. Sci. Dec. 2006. V. 53. № 6.
18. Liu S., Titus J.L., Boden M. Effect of Buffer Layer on Single-Event Burnout of Power DMOSFETs // IEEE Trans. Nucl. Sci., Dec. 2007. V. 54. № 6.



НОВОСТИ МИРА

«СБЕРБАНК» ЗАПУСКАЕТ АКСЕЛЕРАТОР В СФЕРЕ РОБОТОТЕХНИКИ

«Сбербанк» в партнёрстве с Фондом развития интернет-инициатив (ФРИИ) разрабатывает программу акселерации проектов в сфере интеллектуальной робототехники. Программа сфокусирована на проектах: создание персо-

нальных роботов-ассистентов, логистических и коллаборативных промышленных роботов-манипуляторов, беспилотных автономных транспортных средств, промышленных экзоскелетов.

Команды стартапов из разных регионов России в течение 3 месяцев смогут дорабатывать прототипы своих решений в мастерских профильной лаборатории «Сбербанка».

Они должны за это время найти точки роста бизнеса и каналы привлечения новых клиентов, сфокусироваться на самых прибыльных сегментах, а также подготовить MVP (Minimum Viable Product). При наличии спроса бизнес-подразделений «Сбербанка» на продукт команды смогут реализовать пилотный проект прямо в «Сбербанке».

SEMIEXPO **RUSSIA**

ЭКСПОЦЕНТР
Россия, Москва
29-30 мая 2018 года

semiexpo.ru

Бестрафаретная металлизация керамических подложек

Часть 1

Юрий Непочатов (nuk3d@mail.ru)

В статье представлены результаты исследований в сфере разработки толстоплёночной технологии получения рисунков на керамических подложках бестрафаретным методом с использованием ленты для металлизации. Разработанная технология получения рисунков схем позволяет исключить ряд трудоёмких операций, упростить технологический процесс, сократить себестоимость и длительность рабочего цикла изготовления платы.

ВВЕДЕНИЕ

Керамические материалы используются в различных областях современной науки и техники и особенно широко применяются при изготовлении электронных приборов в качестве изолирующего материала. Керамика имеет относительно высокую механическую и электрическую прочность, низкие диэлектрические потери при высокой температуре, обладает термостойкостью, вакуумной плотностью, способностью образовывать вакуумно-плотные соединения с металлами. Значительная часть технической керамики в радио- и электронной технике подвергается металлизации. Металлизационное покрытие наносят на керамику для создания токопроводящего слоя на определённой части детали, к которой присоединяют полупроводниковый кристалл и выводы. Металлизация может также выполнять функцию электродов конденсаторов, витков катушек индуктивности и промежуточного слоя для соединения керамики с арматурой при помощи пайки. Металлизационный слой создаёт смачивающуюся приповерхность и позволяет получить прочное вакуум-плотное герметичное соединение керамических деталей между собой или с металлом методом пайки. Существуют различные методы металлизации: плакирование, нанесение покрытия из жидкого металлического расплава, диффузия, осаждение из паровой фазы, плазмохимический способ, испарение и конденсация в вакууме, химическое осаждение металлов из раствора, термическое разложение солей, электрохимический способ, вжигание пасты и др.

В большинстве случаев на поверхность керамики наносят пасту из порошков тугоплавких металлов и вжигают их. Металлизация вжиганием находит широкое применение в радиоэлектронном производстве, она позволяет получить надёжный и прочный рисунок печатной схемы, исключая опасность обрыва [1]. Технология металлизации весьма разнообразна, но в общем сводится к двум основным методам [2]:

1. Нанесение на поверхность керамики пасты, состоящей из смеси металлических порошков на органической связке, с последующим вжиганием.
2. Нанесение суспензий из смеси металлических порошков на органической связке на движущуюся с заданной скоростью полимерную плёнку с последующим переносом полученного металлизационного слоя с полимерной плёнки на поверхность керамического изделия с дальнейшим вжиганием.

В первом случае металлизационные покрытия на керамические детали наносятся пульверизацией, намазыванием кисточкой или роликом, окутанием и трафаретной печатью. При использовании второго метода металлизационные покрытия переносятся на керамику с помощью металлизационной ленты. Известны способы изготовления ленты для металлизации керамических изделий путём нанесения на органическую подложку суспензий из смеси металлических порошков с растворителем и пластификатором, которые первоначально применялись для покрытий кернов катодов щёлочноземельными карбонатами [3–5]. Позднее была разработана технология получе-

ния ленты, позволившая металлизировать керамику [6, 7]. Преимущества металлизации с помощью ленты заключаются в том, что лента получается однородной по толщине, плотности, при этом исключается возможность растекания пасты по поверхностям, не подлежащим металлизации. С помощью ленты можно получить более качественное покрытие керамики и вакуумно-плотные спаи повышенной механической прочности.

Для изготовления ленты в работах, указанных выше, были использованы лабораторные установки с движущейся несущей плёнкой. Смесь, состоящая из наполнителя, биндера, пластификатора и растворителя, заливалась в сливной сосуд, из которого выливалась на несущую плёнку и разравнивалась специальным ножом. Однако метод изготовления плёнки на установке с помощью разравнивающего ножа не является технологичным, поскольку при этом требуются частые перерывы в работе установки для очистки ножа от налипшей суспензии. Данный недостаток был устранён при разработке способа изготовления ленты для металлизации керамических изделий [8]. Новый способ позволил значительно ускорить процесс получения металлизующей ленты с одновременным улучшением качества металлокерамических спаев. Усовершенствования были произведены за счёт того, что суспензия, применяемая для получения металлизующей ленты, выливалась непосредственно через фильеру на движущуюся с заданной скоростью органическую подложку, при этом суспензия для полива органической подложки состояла из смеси металлических порошков с биндером, растворителем и пластификатором. Приготовленная смесь подавалась в фильеру и через узкую щель прямоугольного сечения выливалась на движущуюся с заданной скоростью органическую подложку. Толщина получаемой ленты задавалась расстоянием между основанием фильеры и подложкой, размером щели фильеры и скоростью протяжки органической подложки. Подле-

жащая металлизации поверхность керамических изделий предварительно смачивалась смесью ксилола и толуола в соотношении 1:1, после чего осуществлялось соприкосновение с металлизующей лентой. Вжигание нанесённого слоя металлизации производилось в водородных печах.

Указанный способ позволяет повысить производительность, обеспечить автоматизацию процесса, равномерность толщины и плотности покрытия, однако он имеет определённые недостатки. Данным способом невозможно получить сложные топологические рисунки, он пригоден лишь для нанесения металлизационного слоя на тела вращения и для создания малых по размерам полей металлических покрытий с простым рисунком. Кроме того, предварительное смачивание подлежащих металлизации поверхностей керамических изделий смесью ксилола и толуола, являющихся вредными веществами, требует особых мер по обеспечению безопасных условий труда для работников, выполняющих данную технологическую операцию.

Более безопасными способами переноса металлизационного слоя с поверхности полимерной плёнки на поверхность керамического изделия являются приклеивание к керамической детали и тепловой способ переноса. В последнем случае детали нагреваются до температуры +90...+100°C и плотно прижимаются к полимерной плёнке со стороны металлизационного слоя, в результате чего данный слой под воздействием температуры прикрепляется к поверхности керамики, чётко повторяя след соприкосновения с деталью. После этого производится вжигание перенесённого металлизационного слоя в керамику [2].

Постановка задачи

Металлизация керамических деталей с помощью металлизационной ленты возможна, в основном, на торцевых поверхностях деталей цилиндрической формы с малой площадью поверхности покрытия. Создание сложных металлизационных рисунков на плоских изделиях из керамики с большой площадью поверхности покрытия перечисленными способами с использованием металлизационной ленты невозможно. Получить сложные топологические рисунки на подложках можно только с использованием методов фотолитографии или трафаретной печати, что имеет

высокую стоимость при малых сериях изготавливаемых изделий и требует больших временных затрат. В данной статье представлена более простая, безопасная, быстрая и дешёвая толстоплёночная технология получения рисунков различной конфигурации на керамических подложках бестрафаретным методом с использованием ленты для металлизации.

МАТЕРИАЛЫ

При разработке технологии использовались полимерные плёнки из фторопласта, ПЭТ (лавсана, майлара) и полиимида (см. рис. 1), подложки, выполненные из керамики на основе оксида алюминия (Al_2O_3), нитрида алюминия (AlN) размером 30×29×0,38 мм, а также металлизационная паста, состоящая из смеси металлических порошков молибдена, марганца и кремния с добавлением органического связующего вещества (биндера).

Основным критерием выбора полимерных плёнок для металлизационной ленты являлась стойкость органических материалов к воздействию высоких температур, поскольку при тепловом переносе слоя металлизации на керамическую подложку полимерная плёнка нагревается до температуры +130°C.

Как видно из таблицы 1, наиболее термостойкими органическими материалами являются ПЭТ (лавсан, майлар), полиимид и фторопласт (тефлон), которые и были выбраны с целью опробования в качестве материала полимерной плёнки для теплового переноса металлизационного слоя с неё на поверхность керамического изделия. В перечень органических материалов для изготовления металлизационной ленты вошли:

- плёнка фторопластовая Ф-4, ГОСТ 24822-80;
- плёнка ПЭТ (лавсановая, майларовая), ГОСТ 24234-80;
- плёнка полиимидная, ГОСТ 28026-89.

В состав металлизационной пасты вошли металлические порошки молибдена, марганца и кремния и органическое связующее вещество.

ШЛИФОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ПЕРЕД МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Полученные после обжига керамические подложки из оксида и нитрида алюминия претерпевают довольно значительную усадку (до 30% по объё-



Рис. 1. Полимерные плёнки: а) ПЭТ (лавсановая, майларовая); б) фторопластовая; в) полиимидная

Таблица 1. Стойкость органических материалов к воздействию высоких температур

Тип органического материала	Максимальная рабочая температура, °C
Полиэтилен высокого давления, полиуретаны, поливинилхлорид (винипласт)	80
Полипропилен, полиэтилен высокой плотности	90
Радиационно отверждённый поливинилхлорид	105
Капролактамы: капрон, нейлон и др.	105
Поликарбонат	140
Полиэтилентерефталат ПЭТ (лавсан, майлар)	150
Полиимиды	180
Политетрафторэтилен (фторопласт, тефлон), силиконы	200

му), которая сопровождается нарушением их геометрической формы из-за неизбежных неоднородностей в сырье, гранулометрическом составе, плотности после формообразования, сушки, обжига и т.д. После окончательного обжига такие подложки имеют неплоскостность до 500 мкм. Необходимые допуски размеров и формы могут быть достигнуты только путём дополнительной обработки. Одним из важных моментов в формировании металлизационного покрытия на керамике является подготовка поверхности. Качество изготовления плат с толстоплёночной металлизацией зависит от плоскостности и шероховатости поверхности подложек. Керамические подложки перед металлизацией подвергались механической шлифовке для выравнивания плоскости и достижения шероховатости поверхности со средним арифметическим отклонением профиля (Ra), равным 0,2...0,63 мкм. После шлифовки подложки тщательно промывались в кипящем трихлорэтилене, затем подвергались ультразвуковой обработке в деионизированной воде и сушились в ацетоне.



Рис. 2. Установка литья плёнки ГМ 975

Подложки из оксида алюминия перед металлизацией проходили трёхразовую очистку в деионизированной воде в ультразвуковой (УЗ) ванне при температуре $+50^{\circ}\text{C}$, затем на них наносился рисунок из металлизационной ленты.

А подложки из нитрида алюминия после шлифовки оксидировались для формирования на их поверхности слоя окиси алюминия толщиной 10...20 мкм. С целью защиты объёма керамики из нитрида алюминия от окисления во время дальнейшего вжигания пасты и предотвращения пузырения металлизационного покрытия перед нанесением рисунка из металлизующей ленты подложка очищалась от загрязнений, после чего проводилось оксидирование. Очистка также трижды проводилась в УЗ-ванне, заполненной деионизированной водой, нагретой до температуры $+50^{\circ}\text{C}$. Оксидирование осуществлялось в водородной электропечи ЦЭП-214 при температуре $+1100^{\circ}\text{C}$ в среде влажного формирующего газа.

Тепловой перенос топологического рисунка с использованием металлизующей ленты

Метод теплового переноса с использованием металлизующей ленты состоит из четырёх операций:

1. Приготовление суспензии металлизационной пасты.
2. Изготовление равномерного металлизационного слоя в виде ленты на полимерной плёнке с использованием специальной установки ГМ 975 (см. рис. 2) с движущейся несущей основой из полимерной плёнки.
3. Вырезание заготовок необходимой конфигурации из металлизационной ленты с помощью лазера.
4. Формирование рисунка на подложке за счёт переноса на нагретую керамическую подложку топологического рисунка, полученного на заготов-

ке из металлизационной ленты путём лазерной резки.

Все операции разделены во времени.

Из источников [8, 9] известны способы изготовления ленты для металлизации керамических изделий путём литья непосредственно через фильеру суспензий из смеси металлических порошков с растворителем и пластификатором на органическую подложку из фторопласта, движущуюся с заданной скоростью. Фильера представляет собой воронку, нижняя часть которой выполнена в виде щели с полированными краями, при этом зазор между валом и щелью воронки определяет толщину металлизующей плёнки и может регулироваться с помощью микровинтов.

Изготовление металлизующей ленты осуществлялось на установке ГМ 975, в которой используется принцип полива суспензии из смеси металлических порошков и органических компонентов (пасты) на полимерную плёнку. Установка позволяет изготавливать металлизационную ленту шириной до 150 мм со слоем пасты заданной толщины – от 10 до 180 мкм.

Технологический процесс изготовления металлизующей ленты

Технологический процесс изготовления металлизующей ленты включает в себя три основных стадии: изготовление смеси порошков заданного состава, изготовление суспензии металлизационной пасты, получение металлизующей ленты.

На первом этапе производится взвешивание порошков молибдена, марганца и кремния и изготавливается смесь этих компонентов в соотношении 75/20/5%. Затем производится помол и смешивание согласно рецептуре (см. табл. 2) в стальном барабане на валковой мельнице. Далее смесь

порошков переливается в молибденовый лоток и производится естественная сушка в вытяжном шкафу в течение не менее 12 ч, после чего следует просев порошка через сито с последующей сушкой при температуре $+60\pm 5^{\circ}\text{C}$ в течение не менее 12 ч.

Изготовление суспензии металлизационной пасты заключается в перемешивании смеси порошков, пластификатора, сополимера и растворителя. Часть смеси порошков и молибденовый ангидрид помещаются в сито с шарами согласно рецептуре (см. табл. 2) и устанавливаются на вибростенд. Оставшаяся взвешенная часть смеси порошка помещается в барабан вместе с пластификатором, толуольным раствором сополимера и ацетоном. После просеивания смесь порошков добавляется в барабан, и осуществляется перемешивание пасты на валах. Необходимая вязкость готовой пасты достигается в течение промежутка времени, равного 35–50 с.

Получение металлизующей ленты осуществляется методом литья суспензии металлизационной пасты на движущуюся фторопластовую, майларовую (ПЭТ) или полиимидную плёнку на установке литья плёнки ГМ 975. Внешний вид плёнок с нанесённым слоем металлизации показан на рисунке 3.

Суспензия металлизационной пасты переливается в бачок (литьевую коробку) установки литья, затем отливается металлизующая плёнка с требуемой толщиной, которая задаётся посредством регулировки зазора между движущейся основой из фторопласта, майлара или полиимида и ракелем. Толщина металлизующей плёнки составляет 30...40 мкм. После этого металлизующая плёнка, нанесённая на полимерную основу, разрезается вместе с основой при помощи лезвия на полосы длиной 50 см, которые складываются в стопку высотой

Таблица 2. Рецепт приготовления суспензии металлизационной пасты

Наименование материала	Количество
Смесь молибденового, марганцевого и кремниевого порошков в соотношении 75/20/5%	1500 г
Ангидрид молибденовый	75 г
Толуольный раствор сополимера ВБМ	580–630 г
Пластификатор дибутилфталат (ДБФ)	80–120 мл
Ацетон	180–230 мл
Шары стальные, $\varnothing 8\text{--}15\text{ мм}$	800–1050 г
Шары стальные, $\varnothing 16\text{--}20\text{ мм}$	800–1050 г
Время перемешивания $48\pm 2\text{ ч}$	
Удельная поверхность $5500\text{--}6000\text{ см}^2/\text{г}$	

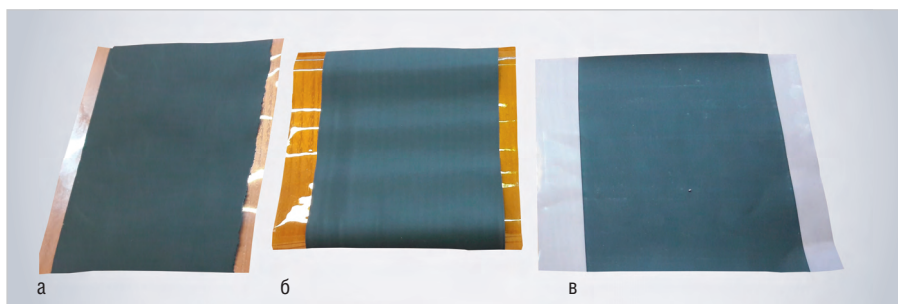


Рис. 3. Плёнки с нанесённым металлизационным слоем: а) ПЭТ (лавсановая, майларовая); б) полиимидная; в) фторопластовая



Рис. 4. Разрезанная и сложенная в стопку металлизующая плёнка

8...10 см или весом не более 1,5...2 кг (см. рис. 4). Стопки с металлизующей плёнкой на полимерной основе помещаются в полиэтиленовый пакет и выдерживаются под грузом при комнатной температуре в течение 20–24 ч. В результате металлизующая плёнка получается плоской и готовой для переноса на керамическую подложку в течение 30 суток при условии её хранения при температуре +3...+5°C.

Во второй части статьи будут рассмотрены технологии лазерной резки металлизующей плёнки, нанесения рисунка с помощью ленты на керами-

ческие подложки, рихтовки подложек с металлизационным подслоем, а также представлен анализ достигнутых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батыгин В.Н., Метёлкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и её спаи с металлами. – М.: Энергия, 1973. 408 с.
2. Глинка С.Б. Металлизация алюмооксидной керамики с помощью металлизационной ленты. Вакуумплотная керамика и её спаи с металлами. Вып. 2(5). – ЦНИИ Электроника, 1972. С. 39–41.
3. Патент ФРГ 1.012.700, 1957.

4. Патент США 2.843.517, 1958.
5. Патент ФРГ 1.063.717, 1959.
6. Применение металлизующей ленты для получения надёжного спая между металлом и керамикой. IRE Transaction on Electron Devices, 1961. IX. № 5.
7. IRE International Convection Record, 1961. NV 9.
8. Способ приготовления ленты для металлизации керамических изделий. Авторское свидетельство № 165106, 1963. Бюллетень изобретений и товарных знаков. 1964. № 17.
9. Гликина С.Е., Золотова И.Н. Металлизующая лента для металлокерамических спаев. Электронное приборостроение. 1967. Вып. 3. С. 206–210.



swissbit®
INDUSTRIAL MEMORY SOLUTIONS



Серия S-40: карты памяти SD и MicroSD для эффективных промышленных применений

- 4–32 Гбайт (MLC NAND Flash)
- SD 3.0 (2.0), SDHC, Class 6
- Передача данных до 24 Мбайт/с
- Автономная система управления данными
- Защита от пропадания напряжения
- Долгое время хранения данных при экстремальных температурах
- Резервирование встроенного программного обеспечения
- Сложный механизм распределения нагрузки и управления сбоями блоками
- Обновление параметров и встроенного программного обеспечения
- Контроль изменений в комплектации
- Инструменты для диагностики

Надёжные, прочные, экономичные

ProSoft®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Реклама

О разработке программ и методик аттестации испытательного оборудования

Евгений Николаев (ФГУП «ВНИИФТРИ»),
Михаил Рагозин (АО «ТЕСТПРИБОР»)

В статье анализируются типичные ошибки, возникающие при разработке программ и методик аттестации испытательного оборудования, рассматриваются конкретные примеры и предлагаются рекомендации по устранению выявленных недостатков.

Испытания продукции являются важным и сложным процессом получения информации о характеристиках объекта и служат основой для объективной оценки технического уровня и качества испытуемых изделий на всех стадиях её жизненного цикла. Условием получения достоверной информации о характеристиках испытуемых изделий с гарантируемой оценкой точности является применение современных средств измерений (СИ) и испытательного оборудования (ИО), предназначенного для воспроизведения условий испытаний.

ИО подвергают процедуре аттестации в соответствии с требованиями государственных стандартов. В результате аттестации определяется пригодность данного оборудования для применения при испытаниях продукции. Согласно требованиям стандартов, процедура аттестации должна включать в себя следующие мероприятия:

- разработку проектов программ и методик аттестации ИО;

- метрологическую экспертизу проектов программ и методик аттестации (или разработку программ и методик аттестации – по решению заказчика);
- согласование и утверждение программы и методики аттестации при положительных результатах метрологической экспертизы;
- исследование основных точностных характеристик ИО;
- оформление соответствующих документов по результатам исследования характеристик, т.е. протокола аттестации и аттестата (при положительных результатах аттестации).

Действующим законодательством установлены определённые требования к организации и порядку проведения метрологической экспертизы, но стоит отметить, что при этом проекты программ и методик аттестации (ПМА) могут разрабатываться на территории любого предприятия, эксплуатирующего ИО, при наличии специа-

листов, владеющих навыками и знаниями в данной области.

Опыт, полученный специалистами ФГУП «ВНИИФТРИ» и АО «ТЕСТПРИБОР» при выполнении работ по аттестации ИО, позволяет провести квалифицированную оценку проектов ПМА, разработанных сотрудниками сторонних предприятий, и выявить недостатки, возникающие вследствие отсутствия опыта выполнения данных работ и знаний государственных стандартов.

В приведённой ниже схеме отражены основные критерии оценки правильности структурного построения документов и изложения в них метрологических и методологических вопросов аттестации ИО. Рассмотрим основные недостатки и ошибки, выявленные в проектах ПМА в ходе оценки соответствия критериям, указанным в схеме на рисунке 1. Более подробно остановимся на критериях № 1 и 4.

КРИТЕРИЙ № 1

1. В ПМА отсутствуют численные значения диапазонов параметров, их допустимых отклонений (погрешностей измерений), вследствие чего невозможно определить объём работ, обоснованность выбора средств измерений (СИ) для контроля характеристик ИО и провести оценку точности измерений.

Правильный выбор параметров ИО и их допустимых границ является одним из важнейших этапов построения ПМА. Именно при решении этого вопроса у специалистов при разработке ПМА возникает больше всего проблем. Основными техническими параметрами ИО, требующими определения и подтверждения при аттестации, должны являться воспроизводимые параметры, которые непосредственно создаются для испытаний изделий. Состав воспроизводимых параметров, а также их допустимых отклонений, как правило, должен определяться в соответствии с техническими условиями или программами испытаний изделий, эксплуатационной документацией на ИО (например, паспорт или техническое описание), государственными стандар-

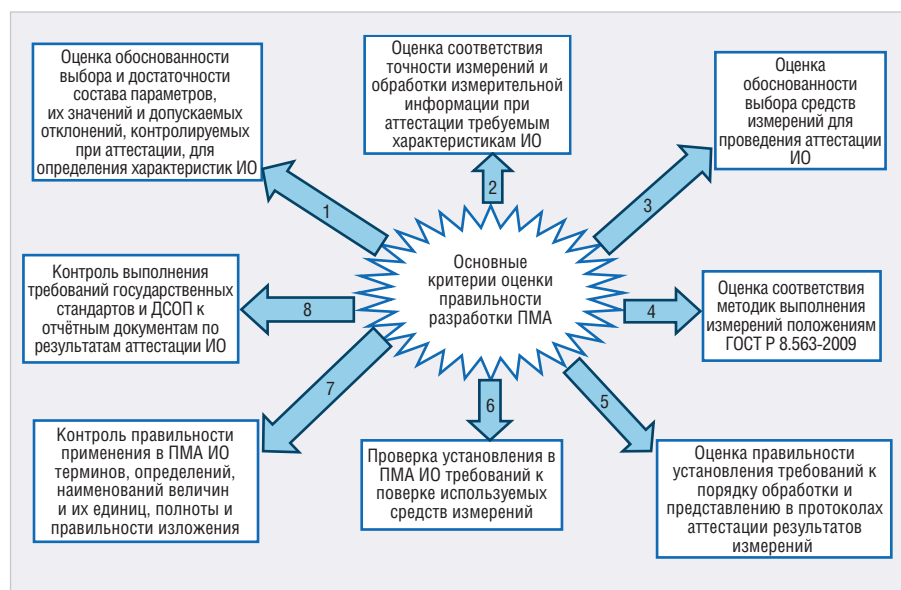
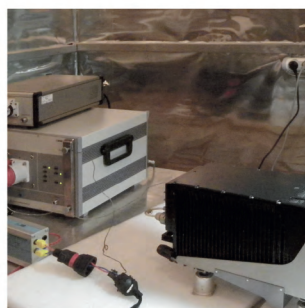


Рис. 1. Структурная схема критериев оценки разработанных ПМА

АТТЕСТАЦИЯ испытательного оборудования

ПО ГОСТ Р 8.568, ГОСТ РВ 0008-002



Головной организацией по проблеме метрологического обеспечения обороны ФГУП ВНИИФТРИ был **РАСШИРЕН ПЕРЕЧЕНЬ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, АТТЕСТАЦИЮ КОТОРОГО ИМЕЕТ ПРАВО ОСУЩЕСТВЛЯТЬ АО «ТЕСТПРИБОР»:**

- безэховые экранированные камеры
- климатические камеры (термогигрокамеры)
- камеры повышенного давления
- камеры пониженного атмосферного давления
- стенды вибрационные
- стенды ударные
- центрифуги
- камеры статической и динамической пыли
- камеры соляного тумана
- испытательное оборудование (комплексы) для испытаний на воздействие электрических и радиотехнических величин
- испытательное оборудование (комплексы) для воспроизведения электростатических разрядов
- специальное испытательное оборудование, испытательные комплексы

**НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРТНОГО ЗАКЛЮЧЕНИЯ № 10.001-2017
АО «ТЕСТПРИБОР» ПРЕДЛАГАЕТ УСЛУГИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ
АТТЕСТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ:**

- Первичная, периодическая и повторная аттестация испытательного оборудования
- Разработка и согласование программ и методик аттестации испытательного оборудования
- Метрологическая экспертиза программ и методик аттестации с выдачей заключения по ее результатам

ТЕСТПРИБОР

125480, г. Москва
ул. Планерная, д. 7А
тел./факс: (495) 657-87-37
testpribor@test-expert.ru
www.test-expert.ru

тами (в которых могут быть изложены требования к оборудованию, применяемому при испытаниях изделий) и др.

Следует учитывать, что, кроме производимых параметров, у ИО имеются также иные технологические параметры, отвечающие требованиям техники безопасности и обеспечивающие функционирование ИО. К таким технологическим параметрам можно отнести:

- характеристики питающей сети, такие как напряжение и частота переменного тока;
- геометрические размеры составных частей ИО, если они не используются при расчётах воспроизводимых параметров и не требуют контроля с применением СИ;
- давление в системе подачи жидкого азота в испытательную камеру холода, контролируемое по индикаторным устройствам с целью оценки правильности работы насосной системы;
- сопротивление изоляции токоведущих систем и др.

Следующим этапом после определения состава, диапазона и допустимых отклонений параметров является выбор СИ для контроля этих параметров. СИ следует выбирать исходя из его метрологических характеристик, позволяющих провести измерения параметра в требуемом диапазоне. При этом пределы погрешности выбранного СИ должны обеспечивать необходимую точность измерений. При выборе СИ его точность должна быть достаточно высокой по сравнению с допустимым отклонением измеряемого параметра.

Для оценки точности измерений используется величина, называемая коэффициентом точности, которая рассчитывается как отношение допустимого отклонения параметра к погрешности измерений, основной составляющей которой является суммарная погрешность СИ. Для обеспечения приемлемой точности и достоверности измерений следует выбирать средства измерений исходя из значения коэффициента точности, равного 3.

Пример. В ПМА аппаратов горюче-смазочных материалов в таблице основных точностных характеристик приведён параметр «Температура каплепадения контрольного образца», при этом в графах «Номинальное значение» и «Допустимое отклонение» даны ссылки на эксплуатацион-

ную документацию на аппарат. Далее, в разделе «Метрологическое обеспечение аттестации» указано СИ «термометр лабораторный» с описанием основных метрологических характеристик. В связи с отсутствием информации о номинальном значении и допустимом отклонении параметра невозможно сделать вывод о правильности выбора данного термометра, так как непонятно, удовлетворяет термометр требованиям к диапазону и погрешности измерений или нет.

Рекомендации:

- изучить эксплуатационную документацию (ЭД) на все типы аппаратов, под которые подходит данная ПМА, и записать для каждого из них свой диапазон температуры каплепадения и допустимое отклонение;
 - проанализировать диапазон температуры каплепадения для каждого из аппаратов и определить общий диапазон указанного параметра, а затем оценить, перекрывает ли используемый при аттестации термометр общий диапазон параметра.
2. Наименование параметров, их значения, допустимые отклонения (погрешности измерений), приведённые в ПМА, могут не соответствовать данным, указанным в эксплуатационной документации, ГОСТах, методиках испытаний, технических условиях.

Пример. В ПМА на климатическую камеру тепла-холода, разработанную в соответствии с государственными стандартами на проведение испытаний изделий, в диапазоне воспроизводимых камерой температур от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ установлено допустимое отклонение $\pm 3^{\circ}\text{C}$, что не соответствует требованиям ГОСТов, устанавливающих допустимое отклонение к данному диапазону температур $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Рекомендации:

- так как ПМА ссылается на комплекс государственных стандартов на проведение испытаний изделий, необходимо руководствоваться требованиями этих стандартов, т.е. установить допустимое отклонение $\pm 2^{\circ}\text{C}$ к диапазону воспроизводимых камерой температур от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$;
- исключить из ПМА ссылки на данные ГОСТы;
- текст ПМА необходимо дополнить примечаниями о том, что допустимое отклонение может быть указано исходя из требований ЭД на данную камеру или методик испытаний про-

дукции, т.к. государственные стандарты этого не запрещают.

КРИТЕРИЙ № 2

Не обеспечивается требуемая точность измерений при определении основных точностных характеристик ИО.

Пример. При определении выходного напряжения с допустимым отклонением ± 1 В, установленным в ЭД на ИО, используется вольтметр с абсолютной погрешностью измерений $\pm 0,5$ В. При оценке точности измерений рассчитывается коэффициент точности измерений (КТ), равный отношению допустимого отклонения напряжения к погрешности используемого вольтметра. После проведения расчётов установлено: фактический КТ равен 2, что не соответствует требованиям документов, согласно которым фактический КТ должен быть не менее 3.

Рекомендации:

- выбрать СИ, обеспечивающее требуемый коэффициент точности не менее 3;
- скорректировать ЭД на ИО, расширив границы допустимого отклонения.

КРИТЕРИЙ № 3

1. Выбор СИ для контроля параметра ИО не является обоснованным, т.к. оно не обеспечивает достоверность измерений указанного в ПМА параметра.

Пример. В ПМА камеры тепла и холода объёмом 1 м^3 в качестве применяемого СИ указан измеритель температуры с возможностью подключения 8 термометров сопротивления, что является недостаточным условием для проведения аттестации согласно требованиям ГОСТ Р 53618-2009, где изложены методические рекомендации по определению характеристик температурного воздействия в 9 точках полезного объёма камеры.

Рекомендации:

- подобрать измеритель температуры с возможностью подключения большего количества термометров сопротивления;
 - убедиться в том, что измеритель температуры внесён в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ГРСИ РФ);
 - провести оценку точности измерений выбранного СИ.
2. В разделе «Метрологическое обеспечение аттестации» ПМА отсутствуют СИ для контроля основного параметра

тра ИО или характеристики условий проведения аттестации.

Пример. В ПМА на стенд гидравлических испытаний отсутствует СИ для контроля температуры окружающей среды, что недопустимо, т.к. при аттестации используется образцовый манометр, основная погрешность которого подтверждена в узком диапазоне температур окружающей среды. Если не измерить эту температуру, то невозможно провести оценку достоверности измерений воспроизводимого стендом давления.

Рекомендации: подобрать СИ температуры окружающего воздуха, внесённое в ГРСИ РФ и обеспечивающее точность измерений.

КРИТЕРИЙ № 4

1. В ходе рассмотрения ПМА установлено, что измерительный канал, используемый для контроля одного из параметров объекта испытаний и состоящий из первичного преобразователя, коаксиального кабеля и вторичного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), поверен поэлементно.

При аттестации ИО специфического назначения часто применяются измерительные системы, включающие в себя измерительные каналы, состоящие из следующих компонентов:

- первичный преобразователь, формирующий аналоговый сигнал (сила тока, сопротивление, напряжение и т.п.);
- кабель подключения первичного преобразователя к модулю ввода данных АЦП;
- АЦП.

При этом, помимо контроля воспроизводимых параметров ИО, такие каналы применяются для измерений параметров изделий при испытаниях. Если для измерений воспроизводимых параметров применения измерительных каналов, поверенных поэлементно (первичное и вторичное СИ поверяется по отдельности), достаточно, то для использования этих каналов для контроля характеристик объекта испытаний требуется провести испытания в целях утверждения типа и последующую поверку измерительного канала целиком. Так как процедура утверждения типа измерительной системы требует много времени и средств, оптимальным решением проблемы соблюдения требований законодательства может стать разработка и аттестация методики

измерений, подтверждающей правильность расчётов суммарной погрешности измерений первичного преобразователя и АЦП.

2. В ходе рассмотрения ПМА установлено отсутствие методики измерений параметра, рассчитываемого в ПМА косвенным методом с использованием СИ разнородных величин.

Пример. В ПМА на специфическое ИО (стенд с кривошипно-шатунным механизмом) присутствует характеристика «Скорость перемещения ползуна», которую невозможно проконтролировать методом прямых измерений в связи с отсутствием необходимых СИ, занесённых в ГРСИ РФ. При этом на момент разработки ПМА с использованием расчёта скорости перемещения через частоту вращения вала и номинальное перемещение ползуна не была разработана и аттестована методика выполнения измерений, обеспечивающая необходимый результат с установленными и подтверждёнными показателями точности.

Рекомендации: разработать и провести аттестацию методики выполнения измерения в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009 до разработки ПМА и проведения её экспертизы.

КРИТЕРИЙ № 5

В ПМА отсутствует раздел «Обработка, анализ и оценка результатов аттестации», что является нарушением требований государственных стандартов.

Пример. В ПМА на климатическую камеру тепла и холода отсутствует вышеуказанный раздел, который содержит формулы для расчётов средних значений температуры, действительных отклонений, градиентов, вариации, колебаний температуры и т.д. Эти данные используются впоследствии при аттестации на этапе составления протокола и проведения расчётов.

Рекомендации: дополнить ПМА разделом, включающим формулы расчётов характеристик климатической камеры.

КРИТЕРИЙ № 6

В ПМА отсутствуют требования к применяемому при аттестации СИ.

Пример. В ПМА ИО не указано, что применяемые при аттестации СИ должны быть поверены в соответствии с действующим законодательством, а также не приведены положения об отношении допускаемого отклонения воспроизводимого параметра

испытательного режима к погрешности СИ или об отношении требуемой погрешности измерений к фактической при наличии параметров с односторонним допуском в виде «не более» и «не менее». Это не позволяет оценить точность измерений и провести аттестацию ИО.

Рекомендации: установить в ПМА требования к используемым СИ при аттестации ИО в соответствии с государственными стандартами.

КРИТЕРИЙ № 7

В тексте ПМА применяются некорректные термины и определения, имеются ошибки в оформлении, орфографии и пунктуации, например:

- в тексте ПМА приведена запись диапазона частот колебаний синусоидальной вибрации в виде «от 5 Гц до 3000 Гц», что является некорректной записью диапазона в соответствии с п. 4.2.11 ГОСТ 2.105-95;
- в тексте ПМА при указании значения пониженного давления с предельным отклонением приведена запись « $1333 \pm 133,3$ Па», которая является некорректной записью в соответствии с п. 8.5 ГОСТ 8.417-2002;
- в тексте ПМА некорректно приведена запись числовых значений и обозначений единиц величин «10А», «мм. рт. ст.», « $\pm 2\%$ », что является нарушением требований ГОСТ 8.417-2002;
- в ПМА оформлена таблица с обозначением и наименованием «Таблица 1. Характеристики ИО, определяемые при аттестации», что является нарушением требований п. 4.4.1 ГОСТ 2.105-95. Правильное написание наименования таблицы в соответствии с ГОСТ 2.105-95 выглядит следующим образом: «Таблица 1 – Характеристики ИО, определяемые при аттестации».

Рекомендации: перед разработкой проектов ПМА необходимо изучить требования ГОСТ 2.105-95 и ГОСТ 8.417-2002 и применить их на практике.

КРИТЕРИЙ № 8

В тексте ПМА отсутствуют ссылки на государственный военный стандарт, регламентирующие форму отчётных документов по результатам аттестации ИО.

Пример. ПМА по наименованию распространяется на первичную и периодическую аттестацию, однако в разделе «Требования к отчётности» отсутствуют положения об оформ-

лении результатов при проведении периодической аттестации со ссылкой на конкретные пункт или приложение государственного военного стандарта.

Рекомендации: раздел «Требования к отчётности» должен полностью отражать требования государственного военного стандарта в части требований к оформлению результатов аттестации и отчётных документов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во избежание возникновения перечисленных выше проблем специалистам метрологических отделов организаций следует уделять больше внимания:

- изучению ГОСТов, в которых изложены требования к организации и порядку разработки ПМА;
- изучению нормативных документов, содержащих методические ре-

комендации, при разработке ПМА и последующем проведении исследований характеристик ИО на момент аттестации;

- применению при разработке ПМА практических навыков работы с ИО, знаний о целях применения такого ИО, рабочей конструкторской и эксплуатационной документации, методик проведения испытаний.



НОВОСТИ МИРА

В ЗОНЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ: БИЗНЕС-СТРАТЕГИИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАЖДАНСКОЙ ПРОДУКЦИИ

17 апреля 2018 года в рамках выставки «ЭкспоЭлектроника 2018» состоялась открытая пленарная дискуссия на тему диверсификации производства «В зоне турбулентности: бизнес-стратегии для развития производства гражданской продукции».

Соорганизатором данного мероприятия выступил журнал «Современная электроника», а модератором дискуссии стал главный редактор журнала Алексей Смирнов.

Тематика и формат мероприятия были выбраны неслучайно. 24 января 2018 года Владимир Владимирович Путин в рамках рабочей поездки посетил ПАО «Объединённая двигателестроительная корпорация – Уфимское моторостроительное производственное объединение», где осмотрел детали и узлы перспективных вертолётных двигателей и ознакомился с продукцией гражданского назначения. На площадке предприятия прошло совещание по вопросам диверсификации производства продукции гражданского назначения организациями ОПК, в ходе которого Пре-

зидент РФ отметил: «Основной задачей российской промышленности является освоение производства современной и конкурентоспособной гражданской продукции».

Учитывая реалии современного рынка и плановый характер государственного оборонного заказа (ГОЗ), послы Президента вызвал множество толкований и обсуждений. При том что приказы главнокомандующего не обсуждаются, в данном случае речь идёт пока только о рекомендациях. Следовательно, есть время и на обсуждение проблематики, и на обдумывание стратегии и тактики, и на принятие взвешенного решения.

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

Wolfspeed

CRANE
AEROSPACE &
ELECTRONICS

SHARP

BULGIN

HUMMEL

SEMILEDS

RAYSTAR
OLED Display Provider

MICROMETALS
WIGON POWDER CORP.

anadigm

CREE

APBENOC

AVO

Grayhill

HARTING
Pushing Performance

PHILIPS
LUMILEDS

LUMINEQ
POWERED BY BENQ
PowerLite Systems and PowerLite Displays

XP XP Power

MPS
Monolithic Power Systems

В этом ключе прошедшая дискуссия может оказаться весьма полезной для всех игроков данного сектора, поскольку на одной площадке встретились представители бизнес-структур и государственных учреждений.

На открытую трибуну поднялись Михаил Фельдман, руководитель аппарата генерального директора АО «ЦНИИ „Электроника“»; Иван Покровский, исполнительный директор АРПЭ и генеральный директор Информационно-аналитического центра современной электроники; Антон Большаков, директор по маркетингу группы компаний «ОСТЕК»; Максим Кузюк, генеральный директор АО «РТИ»; Михаил Павлюк, генеральный директор АО «ПКК Миландр», и Владимир Зайцев, генеральный директор КП «Корпорация развития Зеленограда». Их оппонентами стали Павел Куцько, директор ФГУП «МНИИРИП»; Алёна Фомина, генеральный директор АО «ЦНИИ „Электроника“»; Татьяна Львова, руководитель Управления взаимодействия с органами государственной власти АО «Росэлектроника»; Вадим Лысов, директор по производству НПФ «ДОЛОМАНТ», и Анаста-



сия Григорьева, директор по маркетингу АО «Авангард».

Прозвучавшие доклады вызвали немало вопросов из зала. Аудитория пыталась разобраться не только в актуальности самой диверсификации, но и, собственно, в необходимости этих действий. Заявление Ива-

на Покровского о том, что диверсифицировать ОПК не нужно, спровоцировало шквал комментариев со стороны представителей государственных регуляторов.

Подробный материал о данной открытой дискуссии читайте в следующем номере «Современной электроники».

MPS
Monolithic Power Systems

МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ДРАЙВЕРОВ



Светодиодные драйверы с интегрированным силовым МОП-ключом и активным ККМ

ProCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU



Реклама

Технологическая оснастка для проведения входного контроля ЭКБ

Денис Роев (roev@radioautomatic.ru),
Сергей Бызов (byzov@radioautomatic.ru)

Сегодня каждый из специализированных испытательных центров использует специальную технологическую оснастку для проверки электронной компонентной базы (ЭКБ). В статье описаны типы применяемых технологических оснасток с их достоинствами и недостатками.

Современная аппаратура, создаваемая на российских предприятиях приборостроения, содержит в себе сотни и тысячи электронных компонентов. Требования, предъявляемые заказчиками к предприятиям-изготовителям данной аппаратуры, ставят в основной приоритет её высокую надёжность и максимально возможный срок эксплуатации. Эти характеристики имеют прямую зависимость от применения в составе изделий высоконадёжных электронных компонентов.

На сегодняшний день существует вероятность выявления дефектов в партиях ЭКБ, поступающих в порядке комплектования к изготовителю аппаратуры. Данная вероятность обусловлена как наличием заводского брака, так и присутствием на рынке ЭКБ контрафактной низкокачественной продукции.

В рамках решения проблем по обеспечению своего производства высоконадёжными электронными компонентами предприятия-изготовители аппаратуры привлекают в качестве

соисполнителей современные испытательные центры, силами которых проводятся сертификационные и ресурсные испытания ЭКБ иностранного производства, а также дополнительные отбраковочные испытания ЭКБ отечественного производства. Работа испытательных центров в данном направлении позволяет практически исключить установку в аппаратуру потенциально ненадёжных электронных компонентов.

Проведение испытаний ЭКБ на этапе входного контроля в части параметрических измерений не представляется возможным без применения специальной технологической оснастки.

Создание технологической оснастки представляет собой комплекс мероприятий от разработки конструкторской документации (КД) до изготовления готового к использованию образца. От сложности проверяемого элемента зависит в целом как сложность разработки самой оснастки, требующей высокой квалификации инженеров-разработчиков, так

и стоимость материалов и комплектующих, используемых в процессе её изготовления.

Существует несколько стандартных решений в этой области.

Самым очевидным может стать покупка готовой оснастки непосредственно у производителей ЭКБ либо у специализированных организаций. На практике такой способ себя дискредитирует. Импортные производители в условиях современных реалий, а также с учётом санкционной политики западных государств, либо не предоставляют на российском рынке подобных услуг, либо их предоставление носит крайне ограниченный характер. Отечественные изготовители ЭКБ вовсе не поддерживают данных потребностей испытательных центров. Также следует отметить, что сроки производства при заказе технологической оснастки по разработанной КД в специализированных организациях составляют от 2-х до 6-ти месяцев. Во всех случаях немаловажным фактором стоит считать экономическую составляющую, так как покупка готовой технологической оснастки на стороне всегда приводит к многократному увеличению стоимости и сроков проведения испытаний в целом, что является недопустимым для клиентов испытательных центров.

Именно поэтому испытательный центр ООО «РАДИОАВТОМАТИКА» в рамках исполнения обязательств по договорам с заказчиками максимально задействует собственные кадровые, научные и производственные ресурсы.

Наиболее доступным вариантом технологической оснастки является печатная плата со специальным контактирующим устройством, в частности ZIF-панелью (от англ. Zero Insertion Force – нулевое усилие вставки) (см. рис. 1) Данный вид разъёмов оборудован подвижной планкой с управляющим ею рычагом, с помощью которой проверяемые изделия, имеющие множество выводов, соединяются без применения усилия к ним. Это позволяет осуществлять мно-

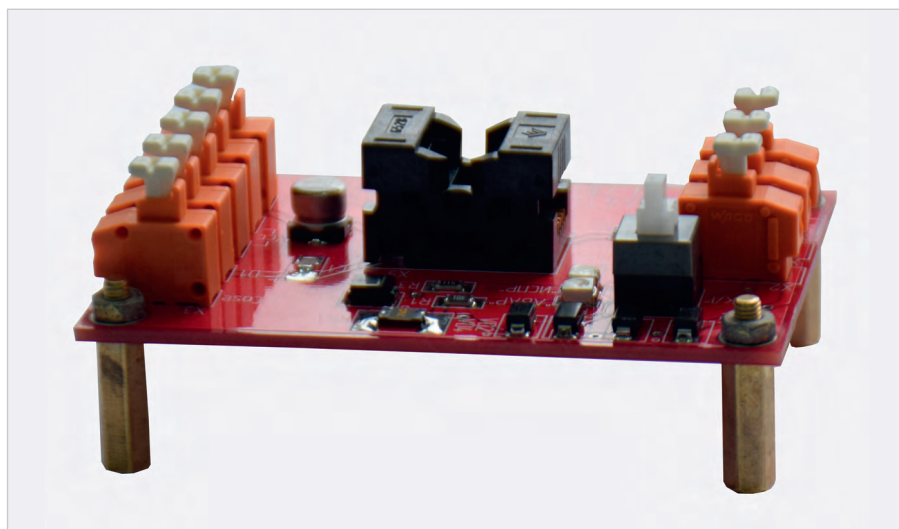


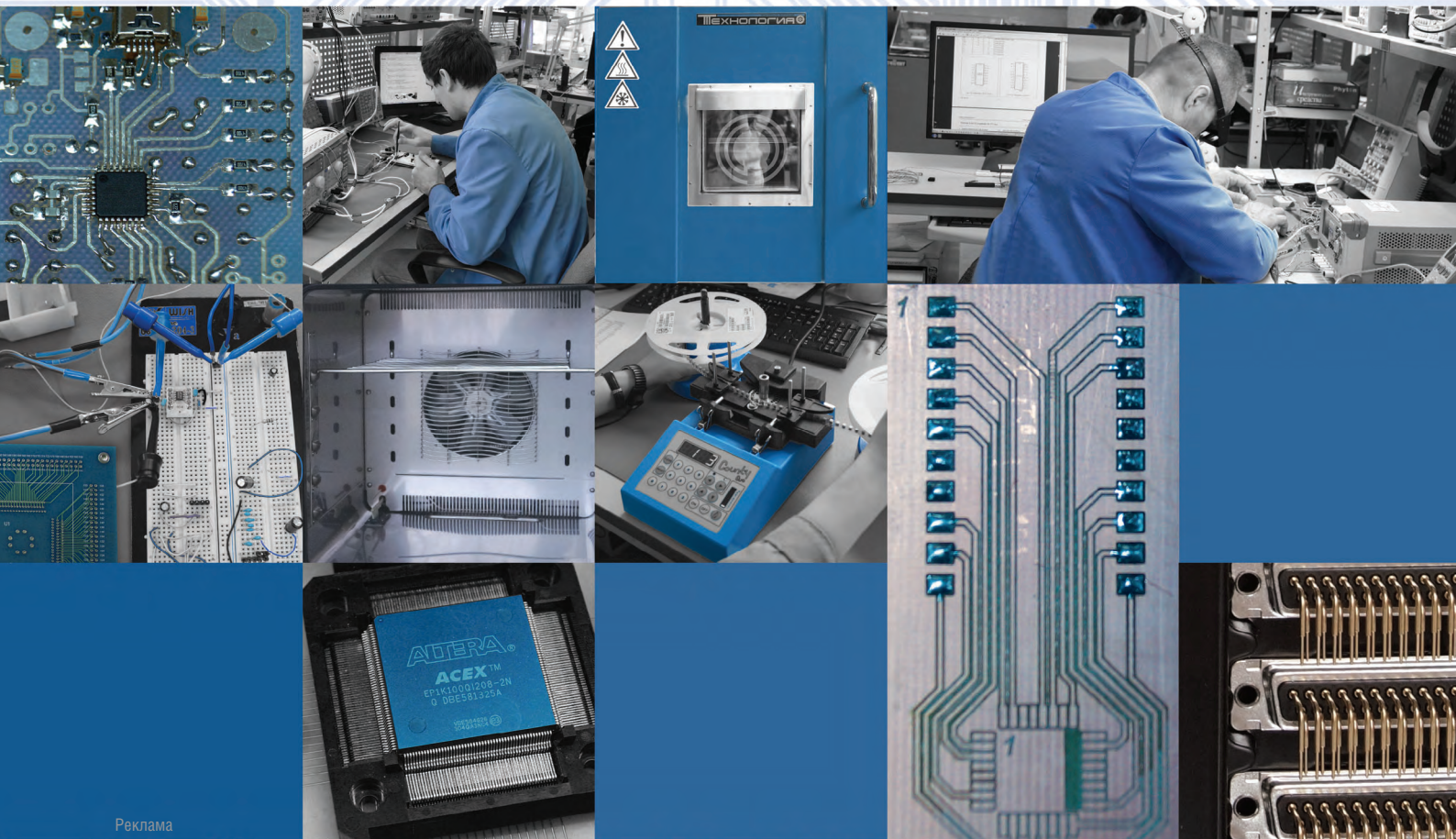
Рис. 1. Специальные ZIF-панели для проверки ЭКБ



РАДИОАВТОМАТИКА

Поставка и сертификационные испытания электронной компонентной базы как отечественного, так и иностранного производства, в том числе испытания на воздействие спецфакторов и специальные проверки.

- комплексная поставка ЭКБ;
- проведение входного контроля ЭКБ;
- проведение сертификационных и дополнительных испытаний ЭКБ;
- проведение специальных проверок;
- консультирование по вопросам применения и выбора ЭКБ (оптимизация поставок, замена устаревшей или снятой с производства ЭКБ и т.д.)



Реклама

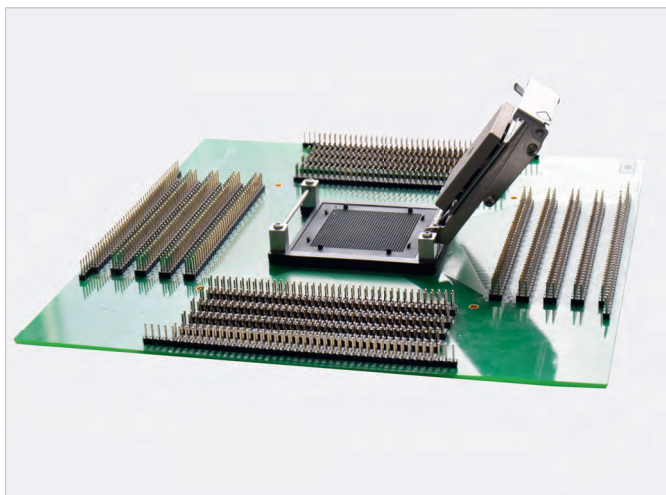


Рис. 2. Технологическая оснастка для проверки изделий в BGA-корпусах

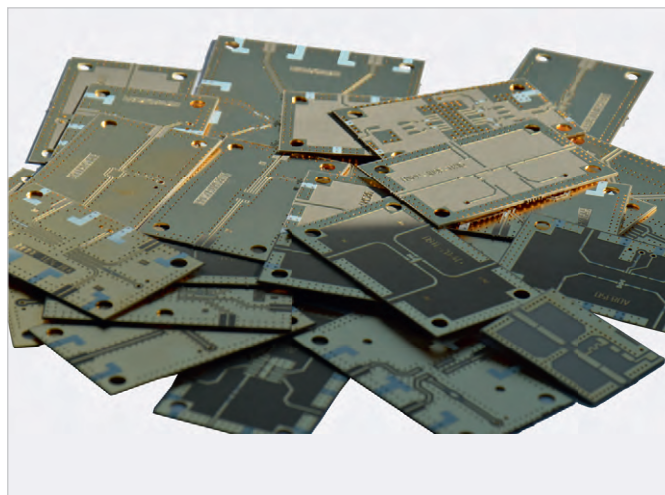


Рис. 3. Простые печатные платы без контактирующих устройств

гократную их замену с исключением возможности повреждения контактов.

Данное решение позволяет проводить быстрый монтаж и демонтаж проверяемых микросхем и с помощью выводов технологической оснастки контролировать необходимые электрические параметры.

Самым дорогим, но при этом самым эффективным представителем технологической оснастки являются специальные комплексы автоматизированной проверки электрических параметров. Такие комплексы позволяют в максимально сжатые сроки получить полный набор проверяемых характеристик с минимальным участием человека в измерениях. Оператору требуется только фиксировать полученные значения и осуществлять операцию загрузки/выгрузки проверяемого изделия. Основными и самыми критичными недостатками являются высокая стоимость и полная технологическая «зависимость» от поставщика данных комплексов в виду невозможности осуществления самостоятельной разработки и внедрения устройств для проверки новых типов изделий. С учётом постоянного форсированного развития и обновления рынка электронных компонентов, в обязательном порядке должен проводиться экономический анализ с целью оценки целесообразности применения и оснащения испытательных центров данными автоматизированными комплексами.

Наименее затратным вариантом является печатная плата без контактирующего устройства – контакт проверяемого изделия осуществляется путём прижима его к плате.

При наличии специального фрезерного станка для печатных плат данная технологическая оснастка с высокой точностью исполнения может быть изготовлена на месте, без обращений к сторонним организациям. Минусом такого решения является невозможность проверки сложных микросхем, например, в BGA-корпусе. Также имеется вероятность случайного смещения изделия относительно контактных площадок, что может привести к потере работоспособности изделия и является критичным при проверке давальческой продукции в виду ограниченного количества и возможной высокой её стоимости.

Компромиссным вариантом изготовления специальной технологической оснастки является сочетание печатной платы с трафаретом из оргстекла, который используется для позиционирования испытуемого изделия и исключает возможность случайного сдвига. Крепление трафарета к печатной плате осуществляется с помощью винтов или клея. Данное решение требует наличия специальных средств для изготовления трафарета из оргстекла нужной формы.

Наиболее трудоёмкими технологическими оснастками в части разработки КД и изготовлении являются оснастки для проверки изделий в BGA-корпусах (см. рис. 2) и изделий СВЧ-диапазона.

Изделия в BGA-корпусе могут иметь свыше 1000 выводов, что влечёт за собой большие трудозатраты на трассировку печатной платы технологической оснастки и на её сборку. Также необходимо учитывать высокую стоимость контактирующих

устройств и ZIF-панелей для BGA-корпусов.

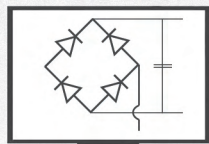
Для разработки технологической оснастки, предназначенной для проверки СВЧ-изделий, необходимо использовать или специальные ZIF-панели, или простые печатные платы без контактирующих устройств (см. рис. 3).

Возможные варианты исполнения технологической оснастки также дополняются различными цепями защиты и индикации. Это позволяет максимально оптимизировать процесс проверки изделий в части простоты использования и сокращения временных затрат.

Каждый испытательный центр использует наиболее подходящие для себя решения в области изготовления технологической оснастки. Основным критерием выбора является безусловное выполнение требований заказчика в части жёстко заданных временных рамок, обусловленных непрерывным циклом производства на предприятиях-изготовителях аппаратуры и экономической целесообразностью.

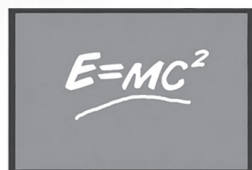
Специалистами испытательного центра ООО «РАДИОАВТОМАТИКА» при проведении испытаний ЭКБ применяется дифференцированный подход к выбору решения по изготовлению технологической оснастки, что позволяет прийти к компромиссу с заказчиком, определяя максимально выгодное соотношение между необходимой полнотой проверки исследуемых параметров, удобством и универсальностью использования оснастки во время проведения работ, а также стоимостью и сроками её разработки и изготовления.



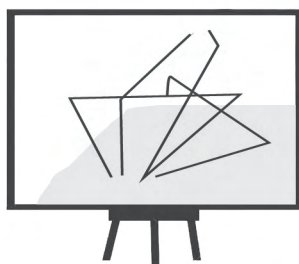


Простые

Подходы к построению
AC/DC-системы питания
могут быть разные...



Сложные



Иногда абсурдные...



**Но оптимальное решение
уже есть:**



Серия PFE модульных AC/DC-преобразователей:

- Диапазон входных напряжений: ~ 85-265 В
- Коэффициент мощности: 0,95
- Ряд выходных напряжений: 12, 28, 48 В
- Выходная мощность: 300-1000 Вт
- КПД: до 90%
- Напряжение пробоя (вход-выход): 3000 В (DC)
- Тип корпуса: BRICK с металлическим основанием
- Диапазон рабочих температур: -40...+100 °C

АВТОРИЗОВАННЫЙ СЕРВИСНЫЙ ЦЕНТР • ПРОРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ • ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ • СКЛАД



Комплексный анализ для быстрой отладки автомобильных сетей Ethernet

Эрнст Флемминг (Rohde & Schwarz)

Разработчики электронных блоков управления (ECU) теперь могут использовать осциллограф также и для отладки автомобильных сетей Ethernet. Для неинтрузивного доступа к сигналу требуется соответствующая опция синхронизации и декодирования блоков данных, а также измерительная плата.

Разработчикам электронных блоков управления (ECU) с автомобильным Ethernet-интерфейсом необходимо выполнять проверку работоспособности своих устройств. Однако если проблемы возникают в ходе передачи сигнала, простого анализа Ethernet-протокола, как правило, оказывается недостаточно. Оптимальным решением этой проблемы является новая опция синхронизации и декодирования блоков данных для осциллографов, представленная компанией Rohde & Schwarz. Опция позволяет разработчикам выполнять запуск по передаваемым данным Ethernet-протокола, декодировать содержимое и соотносить временные интервалы с таймингами сигналов электрических шин. Всё это значительно ускоряет анализ проблем в ходе отладки.

Автомобильный Ethernet обретает всё большую популярность в качестве быстрой шинной системы для автомобильных приложений, таких как системы содействия водителю и информационно-развлекательные системы. В этих целях для автомобильной промыш-

ленности был разработан 100BASE-T1 Ethernet-интерфейс, работающий на основе технологии BroadR-Reach® и стандартизированный рабочей группой IEEE 802.3bw.

Технология 100BASE-T1 использует Ethernet с полнодуплексной передачей данных по неэкранированной витой паре. Сигналы 100BASE-T1 модулированы по схеме PAM-3 (амплитудно-импульсная модуляция), где уровни дифференциального сигнала находятся в диапазоне от -1 до $+1$ В. При этом скорость передачи данных (до 100 Мбит/с) значительно выше, чем в традиционных шинных системах, таких как CAN.

Передачик преобразует частотные характеристики сигналов 100BASE-T1 для обеспечения надёжной передачи с минимальной утечкой на ВЧ через неэкранированный кабель. Стандарт 100BASE-T1 требует наличия эквалайзера в передатчике. После установления соединения интегральные схемы PHY 100BASE-T1 измеряют амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) кабеля. Эквалайзеры выполняют предискажение сигналов для последую-

щей передачи данных в целях обеспечения надёжной передачи сигнала с одновременной минимизацией утечки на ВЧ через кабель. По сравнению со стандартом Ethernet 100BASE-Tx, который не требует использования эквалайзеров, сигналы систем 100BASE-T1 значительно искажены из-за применения функции предискажения. Как следствие, разработчики не могут оценивать сигнал на основании одного лишь анализа уровней сигналов электрических шин.

На рисунке 1 для сравнения представлены сигналы 100BASE-Tx (а) и 100BASE-T1 (б) в автомобильных сетях. На рисунке 1а чётко видны три уровня сигнала и крутые фронты при переключении уровней. На рисунке 1б три уровня сигнала PAM-3 не всегда чётко различимы из-за выполненных эквалайзером предискажений.

ИСПЫТАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ETHERNET-ИНТЕРФЕЙСОВ

Характеристики интерфейсов 100BASE-T1 определены спецификацией IEEE. С помощью стандартизированных испытаний на соответствие разработчики могут измерять электрические характеристики интерфейса с использованием осциллографа и анализатора цепей в лабораторных условиях. Инструменты для анализа Ethernet-протокола, такие как Vector CANoe или Wireshark, обычно используются для проверки элек-



Рис. 1. Дифференциальный сигнал 100BASE-Tx (а) и сигнал стандарта 100BASE-T1 (б) в автомобильных сетях

тронного блока управления (ECU) на предмет правильности передачи данных. Инструменты такого типа позволяют записывать весь поток Ethernet-данных и предоставляют возможности для проведения комплексного анализа. Однако ошибки передачи проявляются исключительно в виде ошибок в блоках данных, поэтому выполнение углублённого анализа причин их возникновения невозможно. Как правило, для этого необходим осциллограф с опцией синхронизации и декодирования блоков данных.

С помощью новой опции синхронизации и декодирования блоков данных, представленной компанией Rohde & Schwarz для шины 100BASE-T1, разработчики ECU смогут наконец непосредственно соотносить электрические сигналы с содержимым переданных блоков данных в ходе анализа. Например, ошибки шины, которые возникают в автомобильных приложениях Ethernet, теперь могут быть устранены так же просто, как и в случае традиционных шин CAN (для которых также представлены высокопроизводительные опции синхронизации и декодирования блоков данных).

Специальные функции синхронизации и декодирования блоков данных в автомобильных приложениях Ethernet

При обмене данными в рамках стандарта 100BASE-T1 оба потока данных передаются по витой паре одновременно. Если пользователь регистрирует уровень сигнала шины с помощью осциллографа, для обеих шин измеряются наложенные потоки данных. Без разделения этих потоков выполнение требуемого анализа невозможно.

В этих целях измерительная Ethernet-плата R&S RT-ZF5 (см. рис. 2) оборудована соответствующими направленными ответвителями. После подключения в линию Ethernet измерительная плата позволяет разделить потоки данных для неинтрузивной записи передаваемых данных стандарта 100BASE-T1 с помощью осциллографа.

На рисунке 3 показано декодирование обоих потоков данных стандарта 100BASE-T1 при полнодуплексной передаче данных. MAC-кадр представлен в цвете, тогда как непрерывно передаваемые пустые кадры отображаются серыми.

Тем не менее, записанные сигналы значительно искажаются эквалайзером, используемым в передатчике 100BASE-T1. Перед последующей обработкой сигналы проходят предварительное выравнивание с применением сложных алгоритмов и затем декодируются. Осциллограф восстанавливает блоки данных в ходе декодирования и отображает все переданные блоки данных и пустые кадры. Декодированные блоки данных отображаются в виде сигналов шины с цветовым кодированием, а также в табличном формате. Это позволяет разработчикам соотносить фактические сигналы 100BASE-T1 с переданными данными протокола для выполнения подробного анализа.

На рисунке 4 представлено декодирование уровней сигнала 100BASE-T1 электрической шины: чётко видны два уровня дифференциального сигнала 100BASE-T1 и содержимое декодированного блока данных.

Благодаря расширенным возможностям синхронизации разработчики могут также, например, отображать отдельные блоки данных с конкрет-

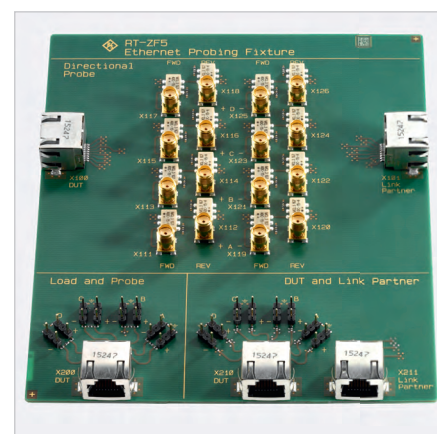


Рис. 2. Измерительная плата R&S RT-ZF5 для Ethernet

ными адресами источника и приёмника.

Анализ ошибок в блоках данных

Временные соотношения между данными, передаваемыми по шине, и другими сигналами могут быть выявлены в ходе декодирования данных 100BASE-T1. Например, в целях отладки пользователи могут определить время начала работы ECU, настроив запуск осциллографа по напряжению питания 12 В и измерив время, прошедшее до получения первого действительного блока данных. Стабильность передачи данных по шине также может быть легко проверена: разработчик настраивает прибор на запуск по кратковременным прерываниям напряжения питания и затем анализирует прерывания, возникающие при обмене данными по шине. Большое количество прерываний сигнализирует о значительном ухудшении стабильности передачи данных.

С помощью осциллографа, оборудованного опцией синхронизации и



Рис. 3. Декодирование обоих потоков данных стандарта 100BASE-T1 при полнодуплексной передаче данных



Рис. 4. Декодирование уровней сигнала 100BASE-T1 электрической шины

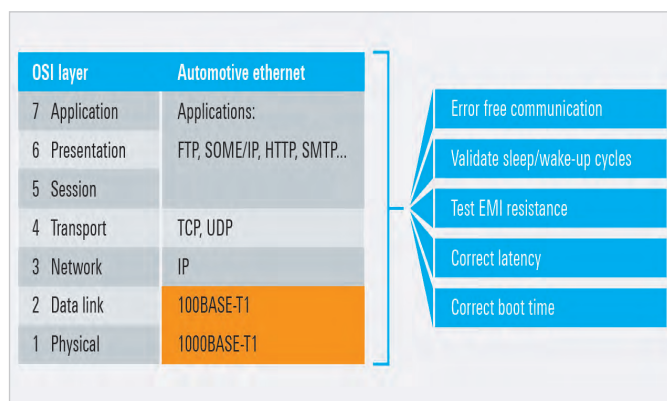


Рис. 5. Структура измерений на всех семи уровнях сетевой модели OSI

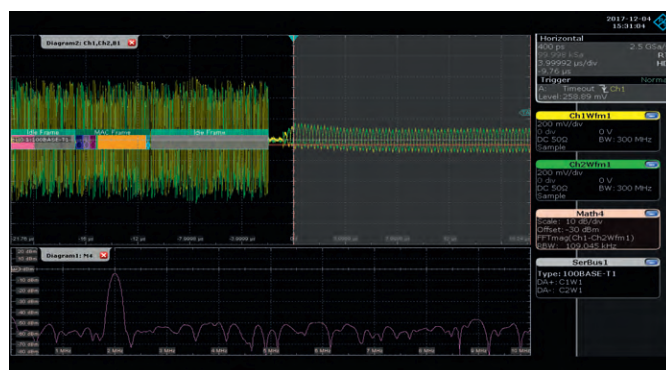


Рис. 6. Анализ спорадических прерываний при обмене данными по шине с использованием сочетания функций протокольного и частотного анализа



Рис. 7. Готовое решение на базе осциллографа R&S RT02044

декодирования блоков данных, можно выполнять измерения на всех семи уровнях сетевой модели OSI, что обеспечивает широкий спектр возможностей для проведения испытаний и анализа (см. рис. 5).

Устранение спорадических ошибок шины, возникающих в результате взаимного влияния источников помех, может оказаться трудной задачей без использования дополнительных возможностей анализа. Декодирова передаваемые данные 100BASE-T1, разработчики могут выполнять анализ обмена данными по шине на всех протокольных уровнях с соответствующей временной корреляцией для определения взаимного влияния источников помех.

Например, в случае измерения, представленного на рисунке 6, MAC-кадр и пустые кадры правильно передаются в начале записи. Однако в середине записи поток данных внезапно прерыв-

вается. На нижней диаграмме построен частотный спектр сигнала помехи (серая область). На частоте 2 МГц четко виден пик сигнала. Очевидно, что этот сигнал помехи вызвал прерывание на шине. Использование функций декодирования в сочетании с другими инструментами анализа, представленными в осциллографе (например, частотный анализ), значительно упрощает выполнение такой отладки. Например, осциллограф позволяет моментально обнаруживать помехи, которые было бы непросто выявить с помощью других методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

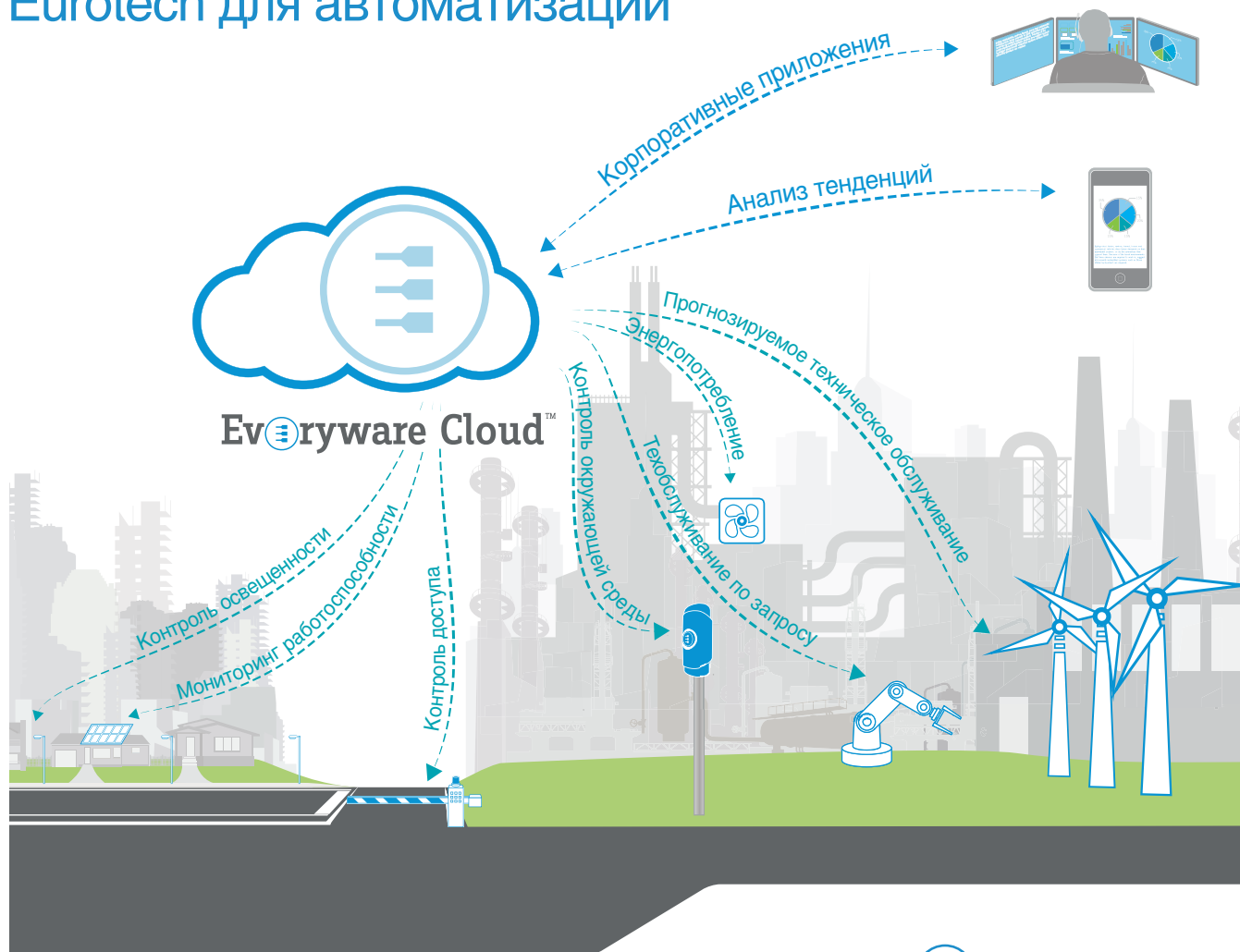
Компания Rohde & Schwarz предлагает разработчикам электронных блоков управления (ECU) с автомобильными Ethernet-интерфейсами полнофункциональную опцию синхронизации и декодирования блоков данных 100BASE-T1, включающую

измерительную плату для неинтрузивного доступа к сигналу. Разработчики могут использовать комплексные функции синхронизации и отображения для переданных блоков данных на этапе наладочных работ. Отображаемая декодированная информация коррелируется по времени с электрическим сигналом, что позволяет пользователям выполнять анализ данных протокола в ходе отладки и оперативно выявлять причины возникновения любых ошибок шины.

Помимо рассмотренной в статье опции синхронизации и декодирования блоков данных 100BASE-T1, компания Rohde & Schwarz предлагает готовые решения (см. рис. 7) для проведения испытаний на соответствие автомобильных Ethernet-интерфейсов требованиям стандартов 100BASE-T1 и 1000BASE-T1, а также испытаний кабельных сегментов с использованием осциллографа и анализатора цепей.



Облачные технологии Eurotech для автоматизации



Решения Eurotech позволяют заказчикам удобно и безопасно подключать оборудование и датчики к корпоративным программным приложениям с помощью **Everyware Cloud™** — M2M-платформы.

Выполняемые функции

- Управление устройством
- Приложение для устройства и управления жизненным циклом
- Контроль состояния устройства/связи в режиме реального времени
- Поддержка промышленных протоколов
- Простая интеграция с корпоративными приложениями
- Сбор потоков данных с различных устройств в реальном времени
- Анализ данных в реальном времени, их хранение и предоставление исторических данных

ProSoft®
WWW.PROSOFT.RU
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

МОСКВА	(495) 234-0636	info@prosoft.ru
С.-ПЕТЕРБУРГ	(812) 448-0444	info@spb.prosoft.ru
АЛМА-АТА	(727) 321-8324	sales@kz.prosoft.ru
ВОЛГОГРАД	(8442) 260-048	volgograd@prosoft.ru
ЕКАТЕРИНБУРГ	(343) 356-5111	info@prosoftsystems.ru
КАЗАНЬ	(843) 203-6020	info@kzn.prosoft.ru
КРАСНОДАР	(861) 224-9513	krasnodar@prosoft.ru
ВОРОНЕЖ	(920) 402-3158	chikin@prosoft.ru

Н. НОВГОРОД	(831) 215-4084	n.novgorod@prosoft.ru
НОВОСИБИРСК	(383) 202-0960	info@nsk.prosoft.ru
ОМСК	(3812) 286-521	omsk@prosoft.ru
ПЕНЗА	(8412) 49-4971	penza@prosoft.ru
САМАРА	(846) 277-9166	info@samara.prosoft.ru
УФА	(347) 292-5216	info@ufa.prosoft.ru
ЧЕЛЯБИНСК	(351) 239-9360	chelyabinsk@prosoft.ru

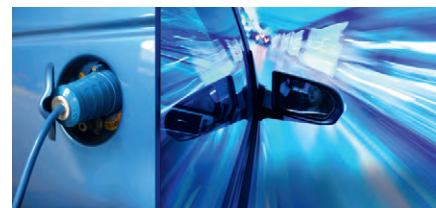


Реклама

Эффективный метод испытаний бортового зарядного устройства для электромобиля

Джакомо Тувери, (Keysight Technologies)

В статье представлено компактное двухквadrантное решение для тестирования преобразователей мощности с регенерацией энергии и встроенными функциями защиты. Предлагаемое решение позволяет сократить время измерений и обеспечивает безопасность персонала и тестируемых устройств.



Электрификация транспортных средств продолжает активно развиваться благодаря растущей популярности «зелёной» энергии и повышению надёжности электрических компонентов.

Наиболее существенным изменением в данной отрасли является появление высоковольтных высокомоощных аккумуляторов в платформе, которая традиционно использовала 12 В. Применение высоковольтных и высокомоощных аккумуляторов в гибридных электромобилях и электромобилях (ГЭМ/ЭМ) с напряжением 300 В и выше значительно увеличивает расходы и риски при проведении испытаний. В связи с этим возникла необходимость в принципиально новой концепции испытаний высоковольтного и высокомоощного оборудования ГЭМ/ЭМ.

Необходимость преобразования электроэнергии

Аккумулятор – это сердце электромобиля. Генерируемые им напряже-

ние и мощность должны быть достаточно высокими, чтобы обеспечить электромобилю запас энергии для дальних поездок. Преобразователи электроэнергии необходимы для получения высоковольтного напряжения постоянного тока от аккумулятора и последующего его преобразования в напряжение и ток, необходимых для питания различных систем ГЭМ/ЭМ (см. рис. 1).

Не все системы автомобиля потребляют то напряжение, которое обеспечивает аккумулятор. Фары, информационно-развлекательные системы и система помощи водителю работают от напряжения 12 В. Энергоёмкие нагрузки, такие как обогрев, электро- и гидравлическая система рулевого управления (EPS/EHPS) и поперечная стабилизация работают с напряжением 48 В.

Бортовое зарядное устройство (БЗУ), которое заряжает аккумулятор ГЭМ/ЭМ от электросети, является системой, преобразующей переменный ток в постоянный в соответствии с потребностями аккумулятора. Кроме того, в автомобиле имеются компоненты и нагрузки

переменного тока, такие как двигатель и генератор. Постоянный ток аккумулятора для питания двигателя преобразуется в переменный. Аналогичным образом переменный ток, получаемый при регенеративном торможении, преобразуется в постоянный ток, который накапливается в аккумуляторе.

Коэффициент преобразования энергии показывает, насколько эффективно одна форма энергии преобразовывается в другую. Эта эффективность вычисляется как отношение выходной мощности к входной и выражается в процентах. Обычно коэффициент преобразования энергии превышает 90%. Чем выше коэффициент преобразования энергии, тем меньше потери энергии, которая очень дорога. Высокий коэффициент преобразования энергии ведёт к снижению затрат на потребляемую энергию, позволяет быстрее и реже заряжать аккумулятор, увеличить дистанцию, которую может проехать автомобиль, а также позволяет сделать сам автомобиль более компактным и экологичным.

Стремительное развитие рынка ГЭМ/ЭМ ведёт к росту спроса на технологии, обеспечивающие более высокие коэффициенты преобразования энергии. В результате растёт потребность в точном измерении и контроле расхода электроэнергии проектируемого устройства. Точное измерение коэффициента преобразования энергии является ключевым фактором для снижения её потребления и повышения эффективности её преобразования.

Трудности, возникающие при тестировании преобразователей энергии

Применение в ГЭМ/ЭМ современных полупроводников с широкой запрещённой зоной, таких как карбид кремния и нитрид галлия, позволяют работать при высоком напряжении и высоком уровне

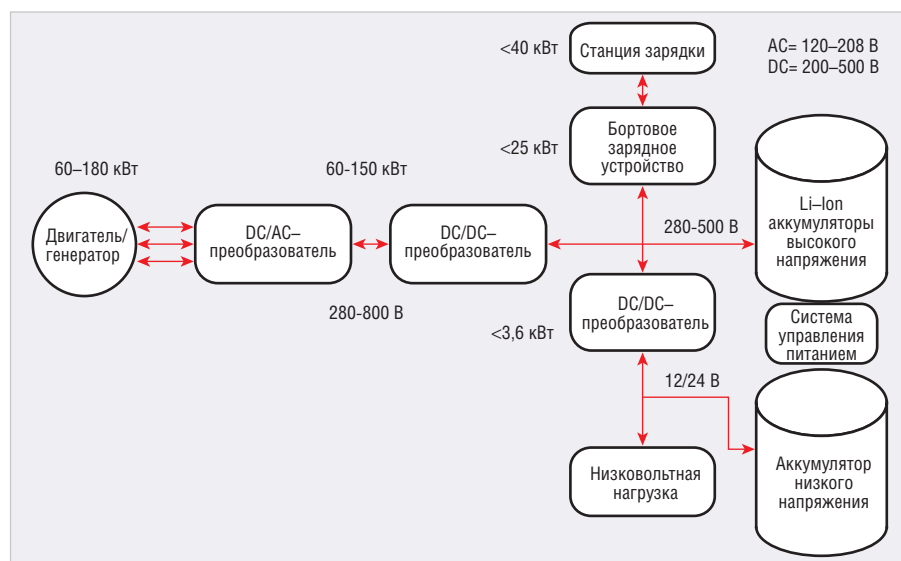


Рис. 1. Схема преобразования электрической энергии в типичном ГЭМ/ЭМ

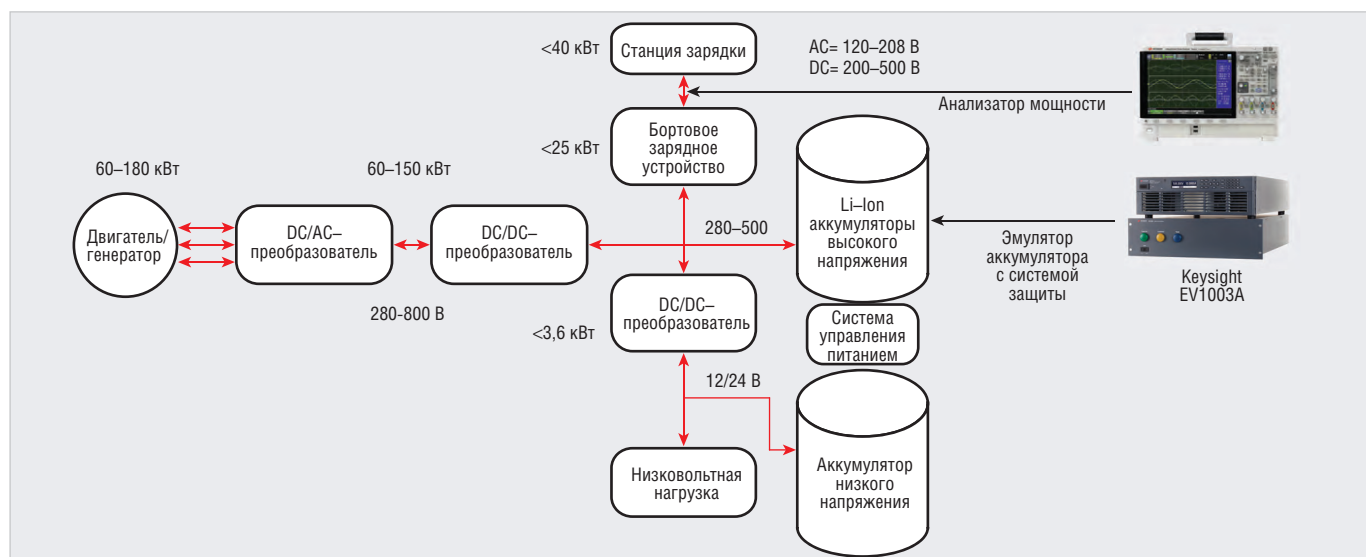


Рис. 2. Использование комплекса EV1003A для тестирования БЗУ в ГЭМ/ЭМ

мощности. Как и с любыми новыми технологиями, в данном случае возникают новые проблемы, которые необходимо решать. Инженеры должны учитывать особенности работы с высоким напряжением и высоким уровнем мощности и проводить испытания с целью минимизации затрат, предотвращения возникновения пробоя цепи, электромагнитных помех, температурных проблем и т.п. Большое значение имеет соблюдение правил безопасности.

Высоковольтное измерительное оборудование, как правило, значительно дороже низковольтного. Кроме того, возрастают и эксплуатационные расходы, так как при работе на полной мощности количество электроэнергии, потребляемой источником мощностью 10 кВт, будет в десять раз больше, чем источником 1 кВт. Вся эта энергия выделяется в виде большого количества тепла, которое необходимо отводить. Система охлаждения помогает уменьшить выделяемое тепло, однако при этом увеличивается занимаемая аппаратурой площадь. Большое значение для безопасной работы с высоким напряжением имеет система аварийного отключения.

Преобразователи энергии в ГЭМ/ЭМ работают с двунаправленным потоком энергии. Для испытания двунаправленных и регенеративных энергетических систем требуется двухквadrантное решение для источника и потребителя, такое как аккумулятор. Однако при выполнении НИОКР и на стадии испытаний аккумулятор не является эффективным контрольно-измерительным прибором ввиду невозможности установки напряжения или других характеристик для реализации необходимо-

го сценария тестирования. Из-за способности выполнения задач испытаний в полном объеме, многие из существующих решений ограничиваются использованием отдельных устройств для источника и потребителя, например, источников питания и электронных нагрузок постоянного тока.

Такой подход довольно сложен в реализации. Кроме того, в данном случае возникают проблемы при управлении и сборе данных, получаемых с приборов. При переходах от режима генерации к режиму потребления могут возникать неравномерности, создающие потенциальную «мертвую зону» при подключении источника постоянного тока и электронной нагрузки для испытания двунаправленных устройств. В некоторых случаях, для того чтобы предотвратить обратное течение тока к источнику постоянного тока во время активного потребления электроэнергии, может потребоваться использование блокирующего диода для защиты источника питания, что усложняет контроль над измерениями и снижает их точность.

Как повысить эффективность тестирования преобразователей энергии

Новый метод тестирования преобразователей энергии должен решать все вышеперечисленные проблемы. Примером эффективного средства для проведения испытаний может служить решение для тестирования преобразователей энергии EV1003A компании Keysight, которое идеально подходит для испытания преобразователей энергии для ГЭМ/ЭМ, как, например, БЗУ (см. рис. 2) [1].

EV1003A состоит из трёх элементов:

- двухквadrантный источник питания с регенерацией энергии серии RP7900 выполняет роль аккумулятора;
- анализатор мощности IntegraVision серии PA2200;
- устройство аварийного отключения SD1000 контролирует сбой и обеспечивает безопасность на выходе.

Источник питания RP7900A может работать в качестве нагрузки с мощностью 10 кВт и размещается в стойке высотой 3U, в то время как обычные устройства с мощностью 6 кВт требуют форм-фактора 4U, а с мощностью 12 кВт – 6U.

На рисунке 3 показана выходная характеристика источника питания RP7900 с автоматическим выбором диапазона. В данном случае отпадает необходимость в нескольких источниках питания, так как пользователь может выбирать любую комбинацию напряжения и тока под кривой постоянной мощности, используя всего один источник. Если потребуется большая мощность, при помощи параллельного соединения можно легко создать систему мощностью до 150 кВт.

Источник питания RP7900 является основой комплекса EV1003A и может использоваться в качестве эмулятора аккумулятора. С помощью данного прибора можно испытывать электрические системы автомобиля, например, работу в двухквadrантном режиме при программируемом выходном сопротивлении. RP7900 можно использовать как в качестве источника питания для испытания систем автомобиля, так и в качестве нагрузки при тестировании бор-

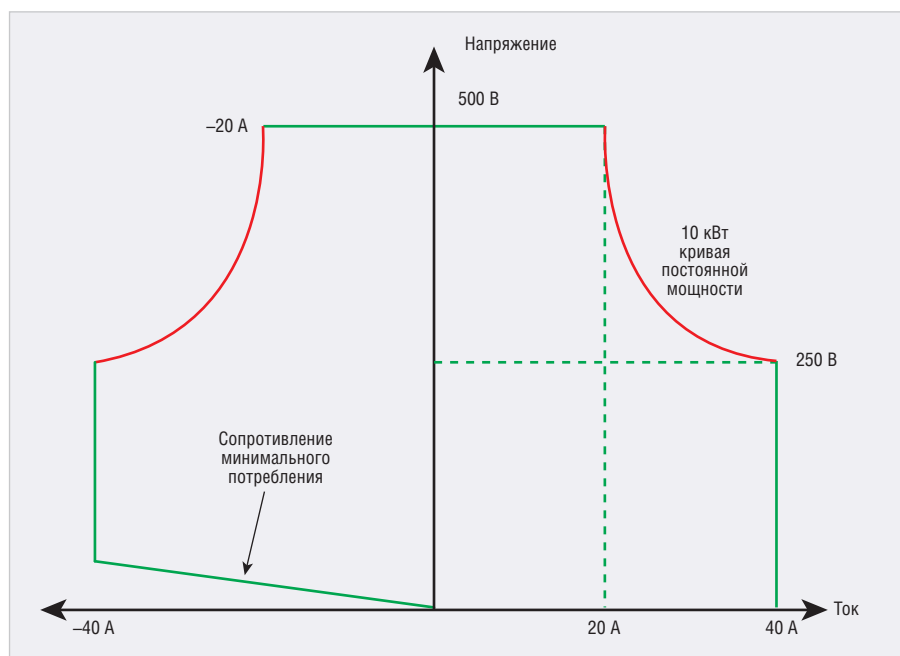


Рис. 3. Автоматический выбор выходных характеристик для RP7900 с выходной мощностью 10 кВт

товой системы зарядки автомобиля и рекуперативного торможения. По сравнению с традиционными методами комплексное решение EV1003A обеспечивает более высокую точность и скорость выполнения измерений. Наличие единой измерительной системы для всех диапазонов тока значительно повышает эффективность работы.

Возможность регенерации энергии в RP7900 позволяет возвращать потребляемую электроэнергию в систему питания. При использовании источника и нагрузки, которая регенерирует энергию с эффективностью более 85%, издержки и потребление электроэнергии значительно снижаются. Кроме того, уменьшается и тепловыделение, что приводит к снижению потребности в охлаждении при рабо-

те в режиме нагрузки. Помехи от других электронных устройств в системе сведены к минимуму. Гармонические искажения при регенерации обычно составляют менее 3% при полной мощности. Таким образом, в сеть возвращается «чистая» электроэнергия.

Анализатор мощности IntegraVision упрощает процесс измерения мощности переменного и постоянного тока при испытаниях ГЭМ/ЭМ. Устройство позволяет измерять мощностные характеристики любого преобразователя энергии в автомобиле, например, коэффициент преобразования энергии переменного тока в постоянный ток в бортовом зарядном устройстве.

В источниках питания Keysight серии RP7900 предусмотрена специальная система безопасного отклю-

чения. При срабатывании любой из защит система менее чем за 15 мс безопасно отключает выходное напряжение. Сигналы аварийного отключения могут быть сгенерированы непосредственно в источнике питания RP7900 или пользователем при помощи аварийного выключателя. Система безопасности соответствует требованиям электромагнитной совместимости и нормативам безопасности.

Компания Keysight разработала аппаратно-программный комплекс, предназначенный для решения задач, связанных с безопасностью испытаний систем электропитания ГЭМ/ЭМ. Применение EV1003A позволяет обеспечить соответствие систем ГЭМ/ЭМ требованиям экологической безопасности. Данное решение является единственной на рынке системой с регенерацией энергии, обладающей большим количеством встроенных функций для обеспечения безопасности персонала и защиты тестируемых устройств. Возможности регенерации позволяют возвращать электроэнергию в сеть, сокращая затраты на электроснабжение и охлаждение устройств, при этом не оказывая влияния на работу сети. Представленный комплекс наряду с технической поддержкой, оказываемой по всему миру, способствует внедрению и дальнейшему развитию высоковольтных и высокомоощных решений для ГЭМ/ЭМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.keysight.com/ru/pd-2807683-pn-EV1003A/hev-ev-battery-emulator-solution-for-power-converter-test?nid=536902253.1208487&cc=RU&lc=rus

НОВОСТИ МИРА

В цифровую стратегию Москвы внедрят 5G, IoT и блокчейн

В рамках программы «Умный город» в цифровую стратегию столицы заложат шесть сквозных технологий, которые будут развиваться во всех отраслях.

С помощью технологий Интернета вещей и сетей 5G в городскую инфраструктуру планируется внедрять больше подключённых устройств и датчиков. Блокчейн будет использован для безбумажных контрактов, искусственный интеллект – для анализа данных и подбора сервисов для физлиц и бизне-

са. Также будет усилено направление, связанное с кибербезопасностью и мониторингом угроз.

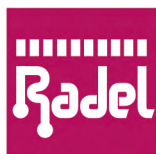
Столичные власти приглашают к участию в проектах инновационные компании.

Представители бизнеса будут обсуждать стратегию проекта «Умный город» до 2030 года с апреля по июнь на площадке отраслевого агрегатора ICT.Moscow.

Программу планируется принять в 2019 году. Первую сеть 5G в столице, скорее всего, в июне развернёт «Мегафон» на Чемпионате мира по футболу.

Новости Интернета вещей





РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ПАТРОНАЖ ТПП РФ



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

Организатор выставки: <http://radelexpo.ru/>



FareXPO
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER



тел.: +7 (812) 777-04-07
radel2@farexpo.ru

18 – 20 сентября 2018

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»,
Петербургское шоссе 64/1, павильон F

Упрощение сложных измерений с помощью источника-измерителя (SMU)

Том Ольсен, (Tektronix)

В статье показано, как двухканальные источники-измерители могут ускорить тестирование преобразователей постоянного тока и полевых транзисторов.

В современных быстро развивающихся технологиях проектирования электронного оборудования сложность является реальным злом и должна избегаться любой ценой, в то время как простота олицетворяет собой всё хорошее и правильное. Возможно это слишком сильно сказано, но, когда речь заходит о контрольно-измерительных задачах, простота становится лучшим другом инженера, поскольку позволяет экономить время и снижает трудоёмкость, при этом позволяя получать более достоверные и точные результаты.

Одним из приборов, способных максимально упростить многие широко распространённые измерения, является источник-измеритель (SMU), объединяющий в себе функции источника напряжения и тока, цифрового мультиметра и электронной нагрузки. В результате получается измерительный прибор, более гибкий, чем каждый из входящих в его состав отдельных приборов, что упрощает схему измерения, сокращает число опера-

ций и, как следствие, снижает вероятность ошибки оператора.

Чтобы не тратить много времени на объяснения того, как SMU упрощает измерения, рассмотрим конкретный пример. Для этого сначала покажем, как с помощью SMU упростить измерение параметров преобразователя постоянного тока, а потом рассмотрим методы упрощения тестирования полевого транзистора. Как покажут эти примеры, работа с SMU требует меньшего числа операций и обеспечивает глубокое понимание результатов измерений.

УПРОЩЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Как и для любых других устройств параметры преобразователей постоянного тока необходимо измерять в процессе их производства, а также для оценки пригодности их применения в проектируемой схеме. В стремлении создать изделие с меньшим энергопотреблением разработчики ищут способы повышения эффективности преоб-

разования энергии. В ходе определения электрических характеристик преобразователя постоянного тока приходится измерять множество параметров, и в том числе следующие:

- нестабильность по входу;
- нестабильность по нагрузке;
- погрешность входного и выходного напряжений;
- ток покоя;
- КПД;
- время включения;
- пульсации;
- динамические характеристики.

Обычно измерение электрических характеристик преобразователей постоянного тока включает подачу и измерение входного напряжения ($U_{вх}$), измерение входного тока ($I_{вх}$), измерение выходного напряжения ($U_{вых}$) и выходного тока ($I_{вых}$) на определённой нагрузке. По результатам этих измерений можно узнать КПД и другие параметры преобразователя. КПД является одним из важнейших показателей, особенно для устройств с автономным питанием, поскольку от него непосредственно зависит время работы устройства от батареи.

Традиционно для выполнения таких измерений используют пару цифровых мультиметров, источник питания и электронную нагрузку. Однако измерение параметров преобразователей постоянного тока можно упростить, заменив все эти приборы одним двухканальным SMU. SMU очень удобны для измерения вольт-амперных характеристик преобразователей постоянного тока, поскольку они могут подавать и измерять как ток, так и напряжение, а также могут выступать в роли электронной нагрузки. Обратите внимание, что для измерения всех параметров преобразователя постоянного тока, кроме SMU, обеспечивающего входное напряжение и ток нагрузки, понадобится ещё и осциллограф.

Применение одного прибора вместо нескольких упрощает схему измерения, программирование и синхронизацию, а также экономит место в стойке или в испытательном стенде. Как показано на рисунке 1, подключение одного канала SMU (канал 1) к входным контактам и

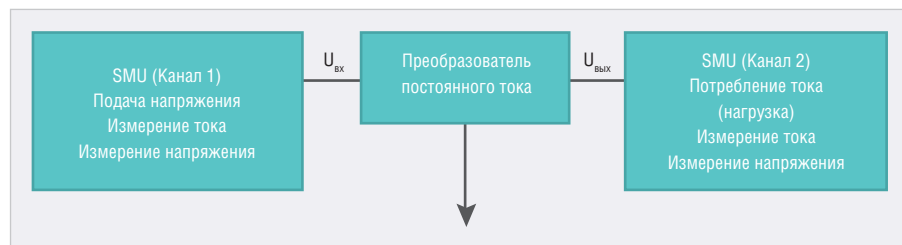


Рис. 1. Подключение SMU к входным и выходным контактам преобразователя

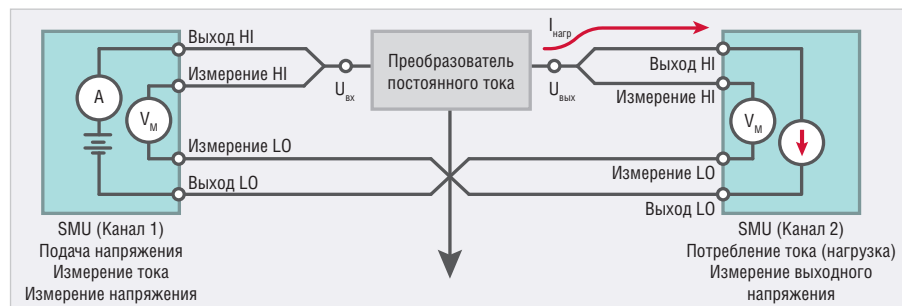


Рис. 2. Типовая схема измерения нестабильности по нагрузке с помощью двух каналов SMU

второго канала SMU (канал 2) к выходным контактам преобразователя постоянного тока заменяет несколько измерительных приборов.

Измерение параметров преобразователя постоянного тока включает регистрацию многих электрических величин. Но мы сосредоточимся на нестабильности по нагрузке и по входу, поскольку эти измерения являются самыми распространёнными.

Нестабильность по нагрузке

Нестабильность по нагрузке характеризует способность преобразователя постоянного тока поддерживать заданное выходное напряжение при изменении тока нагрузки ($I_{\text{нагр}}$) при постоянном входном напряжении $U_{\text{вх}}$. Обычно этот параметр измеряется во всём диапазоне токов нагрузки.

На рисунке 2 показана типовая схема измерения нестабильности по нагрузке с помощью двух каналов SMU. Канал 1 SMU подаёт входное напряжение и измеряет входной ток. Канал 2 SMU работает в режиме электронной нагрузки (является источником отрицательного тока). В этом режиме SMU работает в четвёртом квадранте и потребляет ток.

Каналы SMU настраиваются на работу с отдельным измерительным входом напряжения (четырёхпроводной режим). Четырёхпроводной режим подключения компенсирует падение напряжения на соединительных проводах, которое, в противном случае, отрицательно сказалось бы на точности измерений. В четырёхпроводном режиме напряжение подаётся по одной паре проводов (Выход HI и Выход LO), а измеряется по другой паре проводов (Измерение HI и Измерение LO). Измерительные провода следует подключать как можно ближе к тестируемому устройству, что минимизирует влияние сопротивления проводов на результаты измерения.

На рисунке 3 показаны результаты типового измерения нестабильности по нагрузке, в ходе которого постоянное выходное напряжение тестируемого устройства было установлено на 3,6 В. Канал 1 SMU настраивался так, чтобы подавать на вход преобразователя напряжение 5 В (номинальное значение). Канал 2 SMU настраивался так, чтобы изменять ток нагрузки от 0 до 1 А и измерять результирующее выходное напряжение. Измерения выполнялись автоматически под управлением спе-

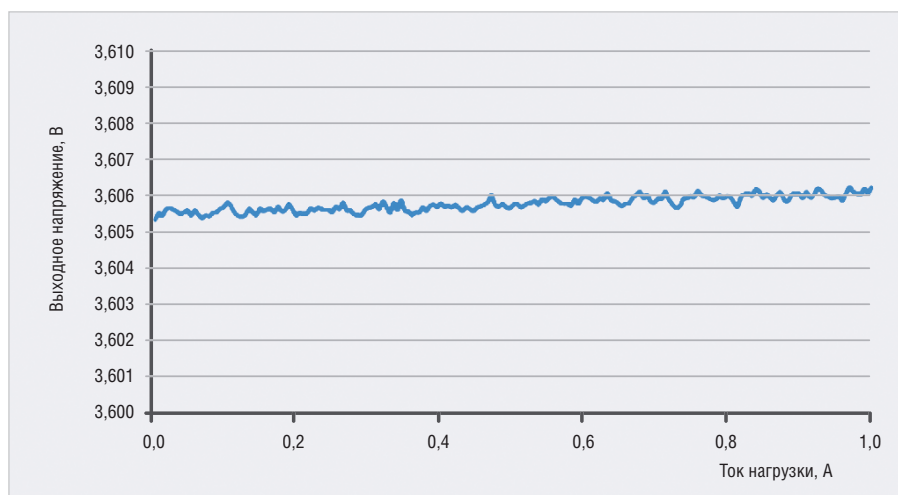


Рис. 3. Результаты типового измерения нестабильности по нагрузке

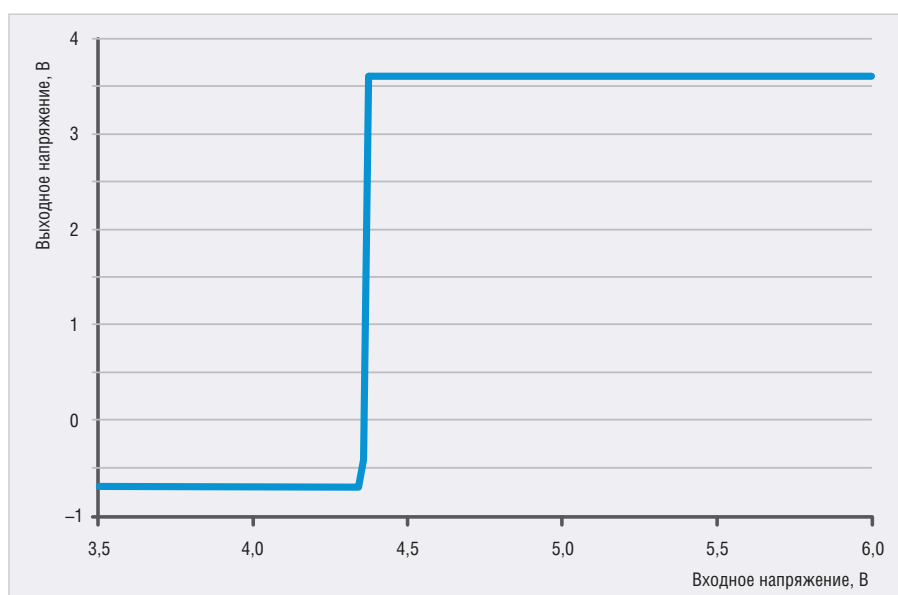


Рис. 4. Результаты типового измерения нестабильности по входу

циальной программы. Значение нестабильности по нагрузке легко рассчитывается по измеренным значениям тока и напряжения.

Нестабильность по входу

Нестабильность по входу характеризует способность преобразователя постоянного тока поддерживать заданное выходное напряжение при изменении входного напряжения. Выходное напряжение должно оставаться постоянным в пределах нескольких милливольт при изменении входного напряжения в указанном диапазоне. Для измерения нестабильности по входу оба канала SMU подключаются к преобразователю постоянного тока так же, как при измерении нестабильности по нагрузке.

Однако в ходе этого измерения входное напряжение меняется в заданном диапазоне и при этом измеряется

результирующее выходное напряжение. Обычно ток нагрузки устанавливается на 0 А. На рисунке 4 показаны результаты типового измерения нестабильности по входу. Один канал SMU (первый) настроен так, чтобы менять напряжение на входе тестируемого устройства, а другой канал SMU (второй) настроен на измерение выходного напряжения. Затем нестабильность по входу можно рассчитать по измеренным значениям входного и выходного напряжения.

УПРОЩЕНИЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С ПОМОЩЬЮ SMU

Измерение вольт-амперных характеристик полевого транзистора используется для того, чтобы подтвердить его соответствие требованиям спецификаций и пригодность к применению в целевых приложениях. Измеряемые

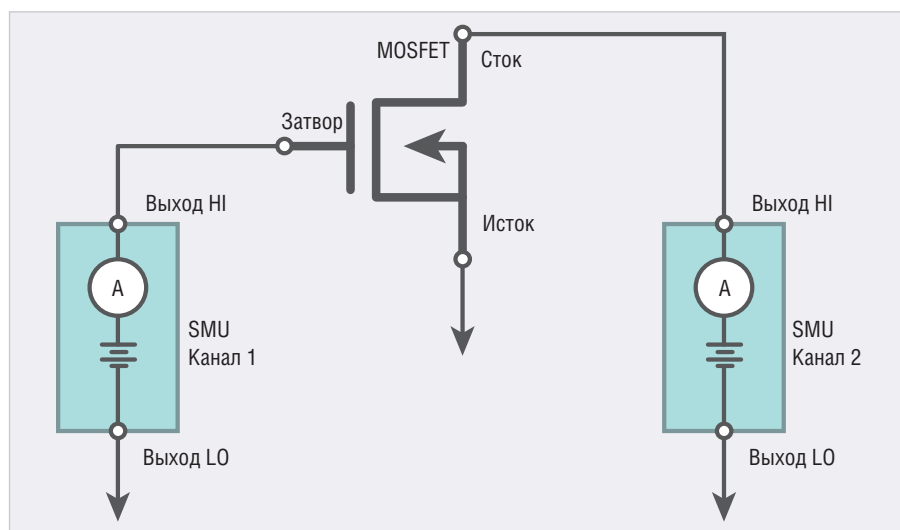


Рис. 5. Схема измерения вольт-амперных характеристик транзистора MOSFET на постоянном токе с помощью двухканального SMU

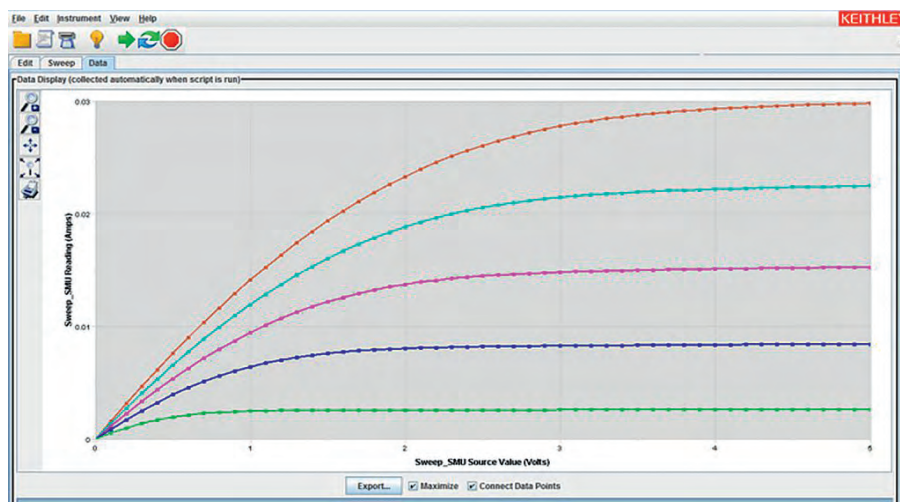


Рис. 6. Семейство выходных характеристик транзистора MOSFET, полученное с помощью двухканального SMU

параметры могут включать ток утечки затвора, напряжение пробоя, пороговое напряжение, передаточные характеристики, ток стока, сопротивление в открытом состоянии и т.п.

Тестирование полевого транзистора зачастую включает программирование и синхронизацию нескольких измерительных приборов, в том числе чувствительного амперметра и нескольких источников питания, что может отнимать много времени. И хотя готовые системы для измерения параметров полупроводниковых приборов решают проблему интеграции, стоимость систем такого типа составляет обычно десятки тысяч долларов.

Альтернативный подход заключается в использовании SMU. Число SMU, необходимых для проведения теста, зависит обычно от числа выводов полевого транзистора, на которые надо подавать

питание и на которых надо выполнять измерения.

В большинстве случаев полевой транзистор представляет собой устройство, работающее с основными носителями заряда, в котором протекающий ток меняется под воздействием электрического поля. Полевой транзистор, как правило, имеет три вывода: исток, сток и затвор. Приложенное к затвору напряжение ($U_{\text{з}}$) управляет током, протекающим от истока ($I_{\text{и}}$) к стоку ($I_{\text{с}}$).

Существует множество структур полевых транзисторов, включая MOSFET (металл-окисел-полупроводник), MESFET (металл-полупроводник), JFET (полевой транзистор с управляющим p-n-переходом), OFET (органический полевой транзистор), GNRFT (транзистор с графеновой нанолентой) и CNTFET (транзистор с углеродной нанотрубкой). Все эти транзисто-

ры отличаются конструктивно и типом канала.

Вольт-амперные характеристики полевого транзистора можно использовать для извлечения многих параметров устройства, для изучения влияния технологий изготовления и параметров технологических процессов и для определения качества контактов. На рисунке 5 показана схема измерения вольт-амперных характеристик транзистора MOSFET на постоянном токе с помощью двухканального SMU (каналы 1 и 2). Здесь клемма Выход HI канала 1 подключена к затвору транзистора, клемма Выход HI канала 2 подключена к стоку. Исток транзистора подключен к клеммам Выход LO обоих каналов SMU или к третьему каналу SMU, если нужно подавать и измерять напряжение на всех трёх выводах транзистора.

После подключения транзистора к SMU нужно настроить управляющую программу (как правило, встроенную в SMU) на выполнение автоматических измерений. Подключите прибор к компьютеру кабелем Ethernet, введите IP-адрес SMU в адресную строку любого браузера, после чего откроется внутренняя веб-страница прибора. С этой страницы пользователь может запустить встроенную программу и настроить нужные тесты, которые можно сохранить для дальнейшего использования.

Одним из измерений, часто выполняемых для транзисторов MOSFET, является получение семейства выходных характеристик ($U_{\text{си}}-I_{\text{с}}$). В ходе этого измерения канал 1 SMU ступеньками меняет напряжение на затворе ($U_{\text{з}}$), а канал 2 SMU свипирует напряжение на стоке и измеряет результирующий ток стока ($I_{\text{с}}$). После настройки двух каналов SMU на выполнение этого теста, данные можно получать и выводить в виде графика на экран в режиме реального времени.

На рисунке 6 показано семейство выходных характеристик транзистора MOSFET, полученное с помощью двухканального SMU, оптимизированного для измерения малых токов. После экспорта в файл формата CSV эти данные можно загружать в электронные таблицы для дальнейшего анализа или для преобразования в таблицу.

Другим широко распространённым измерением полевого транзистора, которое можно выполнить по той же схеме, является построение зависимости тока стока ($I_{\text{с}}$) от напряжения на

затворе (U_g). В ходе этого измерения выполняется свипирование напряжения на затворе и измеряется результирующий ток стока при постоянном напряжении на стоке.

На рисунке 7 показана результирующая кривая I_c-U_g , полученная при постоянном напряжении на стоке. Однако в этом случае полученные данные были экспортированы в виде файла и нанесены на график в полулогарифмическом масштабе. Этот тест можно изменить так, чтобы напряжение на стоке менялось шагами, а напряжение на затворе свипировалось. Данные I_c-U_g отображают несколько декад тока стока, измеренного с помощью SMU (от 10^{-12} до 10^{-2} А).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложность измерений отрицательно сказывается на эффективности и продуктивности работы инженера. Как показано в статье, источники-измерители, объединяющие в себе функции нескольких приборов, могут упростить процедуры тестирования, экономя время и позволяя получать более точные и воспроизводимые результаты.

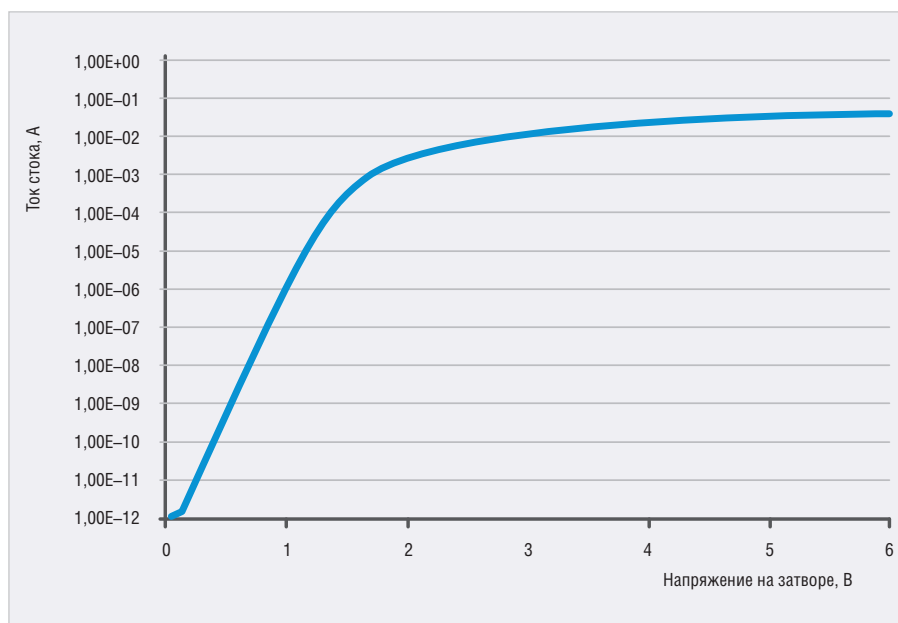


Рис. 7. Зависимость тока стока от напряжения на затворе транзистора MOSFET

В ходе измерений характеристик преобразователей постоянного тока один двухканальный SMU заменяет пару цифровых мультиметров, источник питания и электронную нагрузку. В ходе измерений параметров полевого транзистора SMU представляет

собой более простую и недорогую альтернативу схемам измерения, состоящим из чувствительного амперметра и нескольких источников напряжения или из специализированной системы для измерения характеристик полупроводниковых приборов.



Fastwel

Российская электроника
для ответственных
применений

**Скорость и надежность
современных технологий**

CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial

CPC503

CPC508

CPC510

CPC512

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU

Аналого-цифровые преобразователи с понижением частоты

Часть 2

Виктор Алексеев (victor.alexeev@gmail.com)

Во второй части статьи рассказывается о прохождении сигнала через FIR-фильтры при различных коэффициентах децимации и использовании отладочных средств Virtual Eval для моделирования характеристик АЦП.

ПРОХОЖДЕНИЕ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ FIR-ФИЛЬТРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТАХ ДЕЦИМАЦИИ

Для понижения частоты дискретизации сигнала и уменьшения скорости потока данных в ЦППЧ используются CIC-фильтры (Cascaded Integrator-Comb), которые представляют собой разновидность FIR-фильтров.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) FIR-фильтра зависит от его порядка, коэффициента децимации и задержки в дифференцирующем звене.

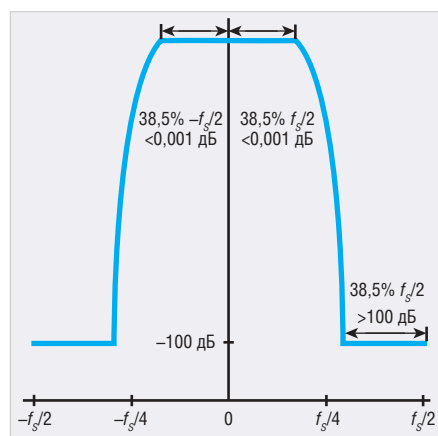


Рис. 10. Пример отклика на выходе фильтра НВ1

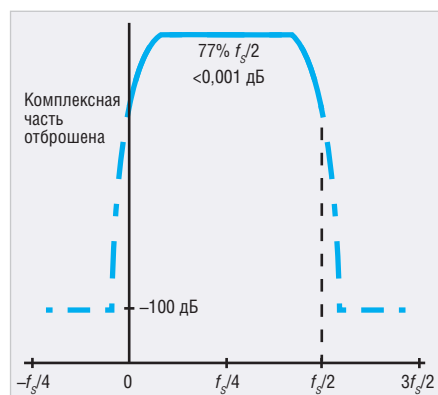


Рис. 11. Отклик фильтра НВ1 при включенном блоке преобразования комплексного сигнала в вещественный

В идеальном случае АЧХ фильтра децимации для широкополосной обработки сигналов должна быть максимально равномерной и иметь прямоугольный спектр в полосе пропускания.

В реальных условиях на АЧХ фильтра влияют различного рода наводки и нестабильность работы элементов схемы, что приводит к потерям полезного сигнала и искажению его формы, поэтому анализ работы децимирующих фильтров, а также коррекция возможных нежелательных факторов является крайне важной задачей при проектировании широкополосных устройств цифровой обработки аналоговых сигналов. Далее будут проанализированы такие важные характеристики фильтров, как разрядность коэффициентов, порядок, окно, нормированная частота среза АЧХ, полосы пропускания и ослабления, вектор частот в полосе ослабления и другие, на примере АЦП AD9680.

В данной статье под термином «полоса пропускания фильтра» подразумевается интервал частот, в пределах которого отношение амплитуды сигнала на выходе фильтра к амплитуде колебаний на его входе не может быть ниже заданного уровня. Термин «полоса задерживания» определяет диапазон частот, в котором относительное затухание фильтра больше или равно заданному пределу. Термин «переходная полоса» обозначает диапазон частот, в котором АЧХ фильтра переходит от полосы пропускания к полосе задерживания.

Для начала следует рассмотреть общий случай отклика FIR-фильтра. На рисунке 10 показан отклик на выходе фильтра НВ1 с учётом комплексной и действительной составляющих сигнала [6]. Как видно из рисунка, фильтр НВ1 имеет в положительной действительной области полосу пропускания и полосу задерживания, составляющие по 38,5% каждая от

ширины реальной зоны Найквиста. При этом на переходную полосу приходится 23%. Аналогично в отрицательной комплексной области полоса пропускания и полоса задерживания составляют 38,5% от комплексной зоны Найквиста с переходной полосой, занимающей оставшиеся 23%. Таким образом, фильтр НВ1 имеет полную зеркальную симметрию между действительной и комплексной частями.

Теперь следует рассмотреть случай, когда в AD9680 имеется встроенный блок ЦППЧ. Стоит отметить, что блок преобразования комплексного сигнала в вещественный (CRC-блок) поставляется как расширение стандартного варианта AD9680. Наличие CRC-блока обеспечивает реальные (не комплексные) сигналы на входе и выходе ЦППЧ. На рисунке 11 показан отклик фильтра НВ1 при включенном CRC-блоке. Данный блок автоматически сдвигает спектр вверх на величину $f_s/4$ (где f_s – частота семплирования входного сигнала АЦП) [6]. Сплошная линия соответствует отклику фильтра НВ1 при сдвиге частоты на $f_s/4$. Пунктирные линии соответствуют теоретическому случаю для варианта, когда фильтр не работает в зоне Найквиста. Из рисунка видно, что отклик фильтра не может распространяться за пределы границы Найквиста (от 0 до $f_s/2$).

Следует отметить, что полоса частот фильтра НВ1 остаётся неизменной и при наличии блока преобразования комплексного сигнала в вещественный, и при его отсутствии. Разница между этими двумя случаями соответствует сдвигу частоты на $f_s/4$, в результате чего центральная частота смещается в зону Найквиста. При отсутствии CRC-блока будет возникать по 38,5% от зоны Найквиста, как для комплексной, так и для действительной составляющих сигнала. В случае использования CRC-блока комплексная составляющая трансформируется, и на реальную часть будет приходиться 77% зоны Найквиста. Таким образом, блок преобразования комплексного сигнала в вещественный повлиял только на сдвиг частоты $f_s/4$, однако в результате преобразования коэффициент децимации стал равным единице. Частота сем-

плирования f_s осталась прежней, но вместо полной полосы частот остаётся только 77% от зоны Найквиста.

Представляет практический интерес вопрос влияния эффекта наложения на отклик фильтра. Для начала следует рассмотреть только вещественную часть диаграммы. На рисунке 12 приведён пример влияния эффекта наложения частот на отклик фильтра НВ1 (вещественная часть). Сплошная синяя линия соответствует отклику фильтра НВ1 на реальный сигнал. Пунктирная линия показывает влияние эффекта наложения на отклик фильтра НВ1.

Поскольку гармоники входного сигнала АЦП во 2-й, 3-й, 4-й и т.д. зонах Найквиста вызывают эффект наложения в первой зоне Найквиста, отклик фильтра НВ1 показывает его реакцию на алиасинг именно в этих зонах. Так, например, сигналы на частоте $3f_s/4$ будут вызывать эффект алиасинга в первой зоне Найквиста в районе $f_s/4$. Важно понимать, что отклик фильтра НВ1 всегда находится только в первой зоне Найквиста, поэтому отклик фильтра на частотные наложения в других зонах также будет располагаться в первой зоне Найквиста.

Рассмотрим, как влияет алиасинг на отклик фильтра при различных значениях коэффициента децимации. Обратимся к примеру ЦППЧ, в котором задействованы два фильтра НВ1 и НВ2. Отклик фильтров для этого случая показан на рисунке 13. При использовании комбинации фильтров НВ1+НВ2 коэффициент децимации будет равен 2. Отклик комбинации фильтров НВ1+НВ2 на реальный сигнал показан синей сплошной линией. Центральная частота полосы пропускания фильтра равна $f_s/4$. В результате работы фильтров НВ1+НВ2 полоса частот уменьшилась до 38,5% от зоны Найквиста. Сигнал, который появляется в зоне $7f_s/8$ будет вызывать наложение частот в первой зоне Найквиста на частоте $f_s/8$. В то же время гармоника $5f_s/8$ вызовет наложения в первой зоне Найквиста на частоте $3f_s/8$. Этот пример с группой фильтров НВ1+НВ2 легко можно распространить на случаи группы фильтров НВ1+НВ2+НВ3 и НВ1+НВ2+НВ3+НВ4. Следует учитывать, что фильтр НВ1 не может быть «прозрачным», в отличие от фильтров НВ2, НВ3 и НВ4.

Теперь рассмотрим, как ведёт себя комплексная часть сигнала при различных конфигурациях ЦППЧ в АЦП AD9680. В качестве примера влияния

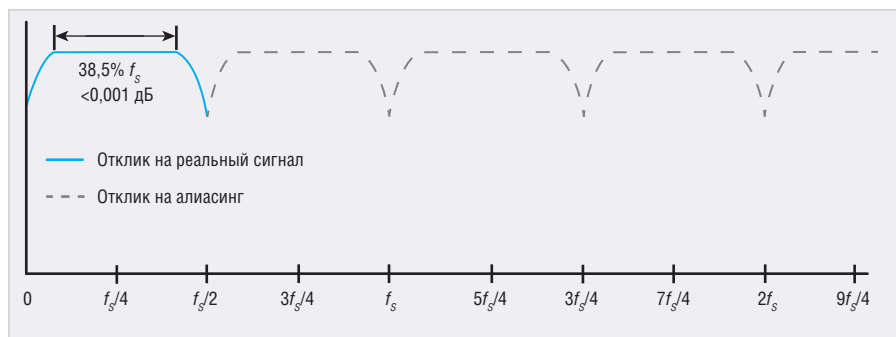


Рис. 12. Пример влияния эффекта наложения частот входного сигнала АЦП на отклик фильтра НВ1 (вещественная часть)



Рис. 13. Пример влияния эффекта наложения частот входного сигнала АЦП на отклик комбинации фильтров НВ1+НВ2, DCM=2 (вещественная часть)

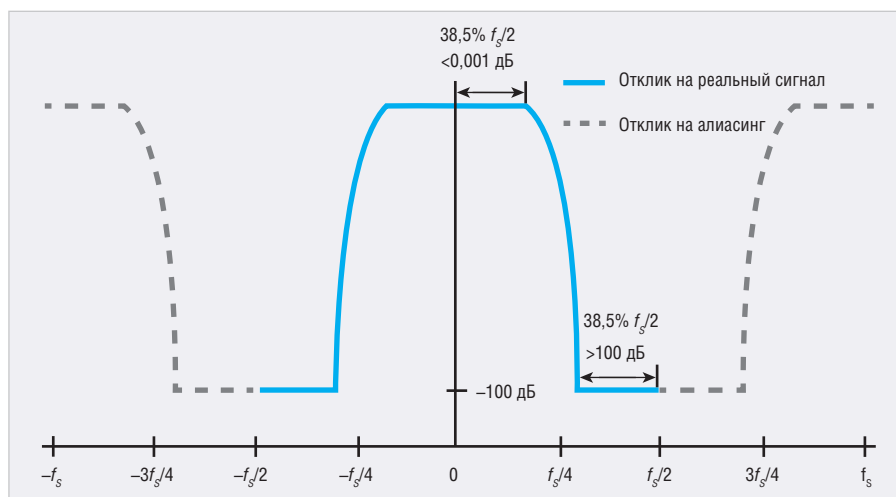


Рис. 14. Пример влияния эффекта наложения частот входного сигнала АЦП на отклик фильтра НВ1 (коэффициент децимации 2, комплексный сигнал)

эффекта наложения на рисунке 14 показан аппроксимированный вид кривой отклика фильтра НВ1. В данном примере предполагается, что ЦППЧ сконфигурирован таким образом, чтобы на его выходе был комплексный сигнал, содержащий действительную часть (I – синфазный канал) и мнимую часть (Q – квадратурный канал).

Вернёмся к рисунку 10, на котором представлены действительные и мнимые части отклика фильтра НВ1. Следует напомнить, что в действительной

области в процентном отношении от ширины реальной зоны Найквиста НВ1 имеет полосу пропускания 38,5%, полосу задерживания – 38,5%, переходную полосу – 23%. В мнимой части на долю полосы пропускания и полосы задерживания приходится по 38,5%, что в сумме составляет 77% от комплексной зоны Найквиста. Переходная полоса в комплексной области занимает 23%.

Сплошная синяя линия на рисунке 14 соответствует фактическому отклику фильтра. Пунктирной синей линией

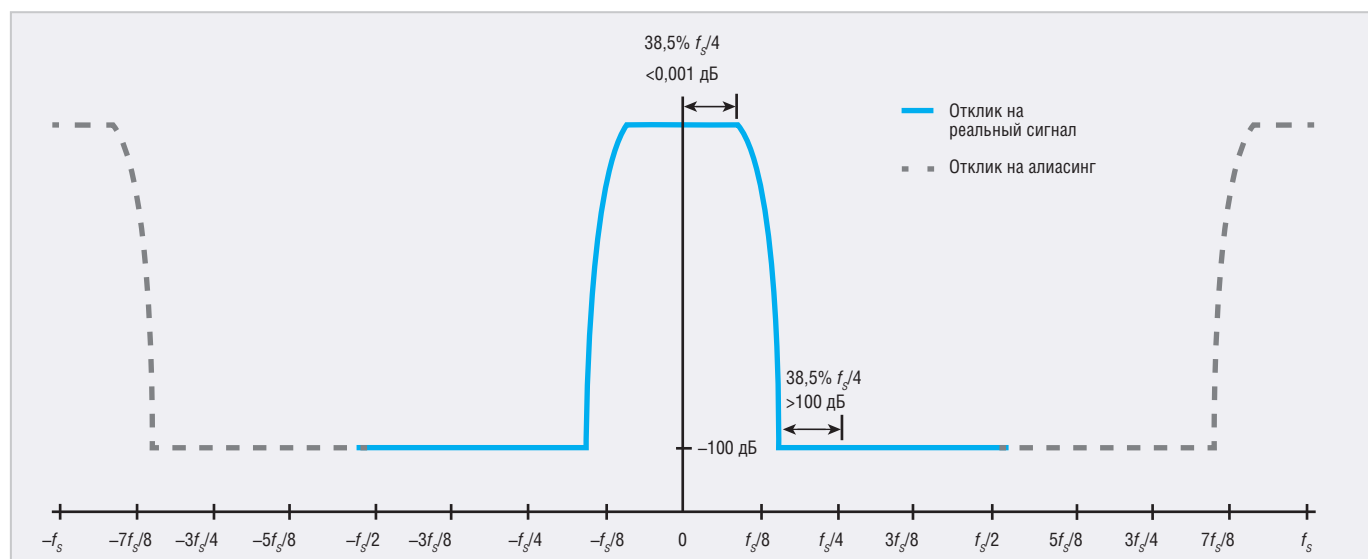


Рис. 15. Пример влияния эффекта наложения частот входного сигнала АЦП на отклик группы фильтров HB1+HB2 (коэффициент децимации 4, комплексный сигнал)

Характеристики ЦППЧ для АЦП AD9680 при различных схемах включения фильтров децимации

Конфигурация	Коэффициент децимации	Частота сэмплирования на выходе	Коэффициент децимации	Частота сэмплирования на выходе	Полоса, защищённая от эффекта наложения	Улучшение отношения сигнал/шум, дБ
	комплексный сигнал	реальный сигнал	реальный сигнал	реальный сигнал		
HB1	2	$0,5 \times f_s$	1	f_s	$0,385 \times f_s$	1
HB1+HB2	4	$0,25 \times f_s$	2	$0,5 \times f_s$	$0,1925 \times f_s$	4
HB1+HB2+HB3	8	$0,125 \times f_s$	4	$0,25 \times f_s$	$0,09625 \times f_s$	7
HB1+HB2+HB3+HB4	16	$0,0625 \times f_s$	8	$0,125 \times f_s$	$0,048125 \times f_s$	10

изображён сглаженный отклик фильтра на эффект наложения частот. Для входного сигнала на частоте $7f_s/8$ алиясинг будет наблюдаться в полосе пропускания фильтра в первой зоне Найквиста на частоте $f_s/8$. В мнимой области для отрицательной частоты $-7f_s/8$ эффект наложения будет проявляться в отрицательной области полосы пропускания $-f_s/8$. На рисунке 15 показано влияние эффекта наложения при включении группы фильтров HB1+HB2 с коэффициентом децимации 4. Сплошной синей линией изображён реальный отклик фильтра. Пунктирная линия соответствует эффекту алиясинга. При совместной работе обоих фильтров HB1+HB2 доступная полоса пропускания составляет 38,5% от зоны Найквиста в действительной и мнимой областях ($38,5\%$ от $f_s/4$). В этом случае эффект наложения будет проявляться для частоты $15f_s/16$ в первой зоне Найквиста в районе $f_s/16$. В мнимой области отрицательная частота $-15f_s/16$ накладывается на другие частоты в мнимой области Найквиста со значением $-f_s/16$. Для случаев совместной работы фильтров HB3+HB4 эпюры будут аналогичны приведённым на рисунке 15.

Зачем же нужна децимация, и какие преимущества даёт эта операция? Одна из целей децимации заключается в

увеличении отношения сигнал/шум в полезной области полосы пропускания. Помимо этого, использование децимации приводит к уменьшению полосы пропускания при работе с интерфейсом JESD204B. Для ряда приложений такой подход позволяет использовать более дешёвые ПЛИС.

В таблице приведены характеристики АЦП с ЦППЧ AD9680 при различных схемах включения фильтров децимации. Одновременное использование всех четырёх фильтров HB1+HB2+HB3+HB4 позволяет улучшить скорость обработки и увеличить соотношение сигнал/шум на 10 дБ.

Как было показано на примере АЦП AD9680, при использовании фильтров децимации существует ряд преимуществ. В частности, в зависимости от приложения ЦППЧ может работать с действительными или комплексными выходными сигналами.

Использование отладочных средств Virtual Eval для моделирования характеристик АЦП

Новое программное обеспечение AD Virtual Eval предназначено для анализа работы отдельных узлов АЦП. Это ПО позволяет моделировать различ-

ные режимы работы фильтров, усилителей, преобразователей и других элементов без использования непосредственно АЦП. Таким образом, не имея самого физического АЦП, разработчик может имитировать работу различных моделей и выбирать наиболее оптимальный вариант, соответствующий конкретной задаче. Пользователь AD Virtual Eval имеет возможность моделировать в режиме онлайн конкретные АЦП с использованием сервера Analog Devices и работать с различными типами АЦП, включая высокоскоростные АЦП, прецизионные и специализированные преобразователи. ПО позволяет моделировать спектры в различных точках АЦП при заданных пользователем параметрах. Данное программное обеспечение находится в свободном доступе на сайте разработчика [7].

Рассмотрим как результаты реальных измерений AD9680 согласуются с модельными расчётами, выполненными с помощью AD Virtual Eval.

После выбора модели открывается главное окно программы, позволяющее работать с симулятором. Программа позволяет также вывести на экран блок-схему исследуемого АЦП, которая соответствует технической документации и информирует пользователя о конфигурации и основных блоках устройства (см. рис. 16). На данном этапе выбираются основные параметры АЦП, такие как частота и амплитуда входного сигнала, тактовая частота, наличие ЦППЧ, частота сэмплирования, которая в приведённом примере составляет 500 МГц.

На следующем этапе выбираются параметры для работы Virtual Eval в режиме имитации анализатора спек-

тра. На рисунке 17 показано окно программы Virtual Eval с параметрами, которые необходимо ввести для выполнения имитации FFT. В данном примере выбраны следующие значения: тактовая частота – 491,52 МГц, частота входного сигнала – 150 МГц, ЦППЧ включён с частотой генератора, установленной на 155 МГц. Для входа АЦП установлено значение «Реальное», преобразование с комплексным режимом (C2R) отключено, скорость децимации ЦППЧ – 4, коэффициент усиления – 6 дБ. Такой коэффициент усиления в ЦППЧ выбран для того, чтобы компенсировать потерю 6 дБ из-за процесса смешивания в преобразователе. Таким образом, ЦППЧ настроен для реального входного сигнала и сложного выходного сигнала с коэффициентом децимации 4.

Программа Virtual Eval позволяет моделировать шумы и нелинейные искажения только в отдельных режимах. На рисунке 17 показаны результаты моделирования шумов. Результаты эмуляции нелинейных амплитудно-частотных искажений также выводятся в отдельном окне. Модельные расчёты, проведённые с помощью Virtual Eval, дают следующие значения шумовых параметров: соотношение сигнал/шум – 71,953 дБ полной шкалы (dBFS), динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR), – 69,165 дБн. Если допустить, что отклик базовой частоты отсутствует, то значение SFDR будет составлять 89,978 дБ, что соответствует величине 88,978 дБн, приведённой к –1 дБ полной шкалы входной мощности.

С помощью меню в Virtual Eval можно задавать множество параметров, позволяющих анализировать различные варианты работы АЦП, выбирать оптимальные диапазоны рабочих частот и контролировать наличие желаемой частоты в выходном спектре. Так, например, варьируя параметры работы АЦП, можно моделировать различные варианты положения основной частоты и соответствующих гармоник на выходе ЦППЧ. Такой подход делает процесс разработки значительно проще и эффективнее, чем использование только аппаратных средств.

Результаты фактических измерений комплексного сигнала на выходе ЦППЧ преобразователя AD9680-500, полученные с помощью VisualAnalog™, показаны на рисунке 18 [8]. Основная частота расположена на уровне –4,94 МГц. Мнимая часть основной частоты находится на

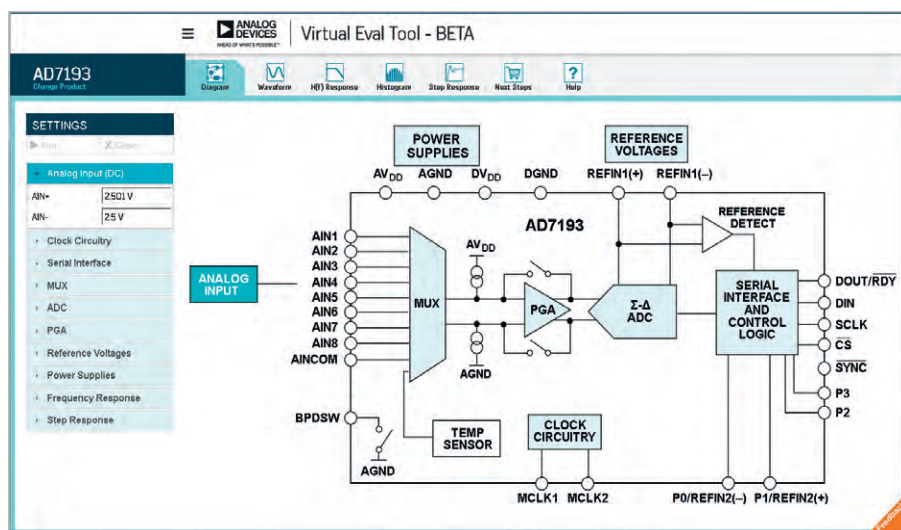


Рис. 16. Окно программы Virtual Eval с блок-схемой исследуемого АЦП

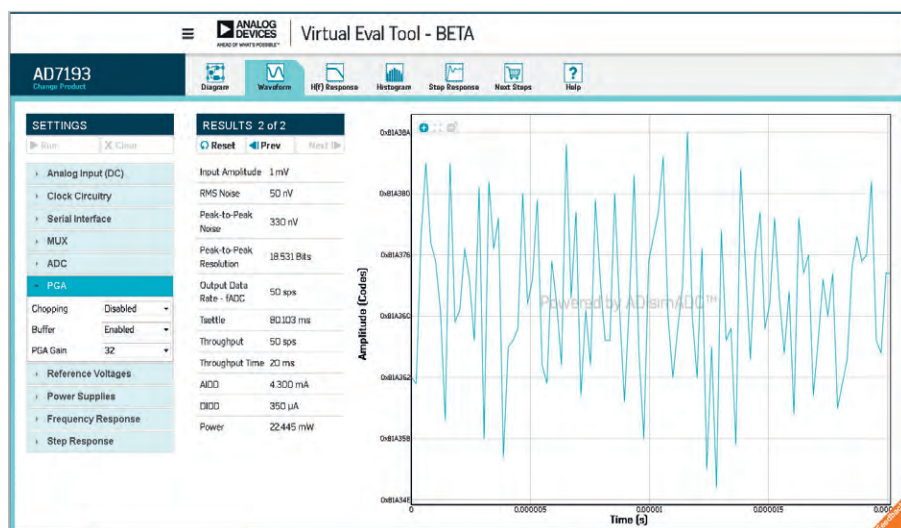


Рис. 17. Окно программы Virtual Eval для ввода базовых параметров

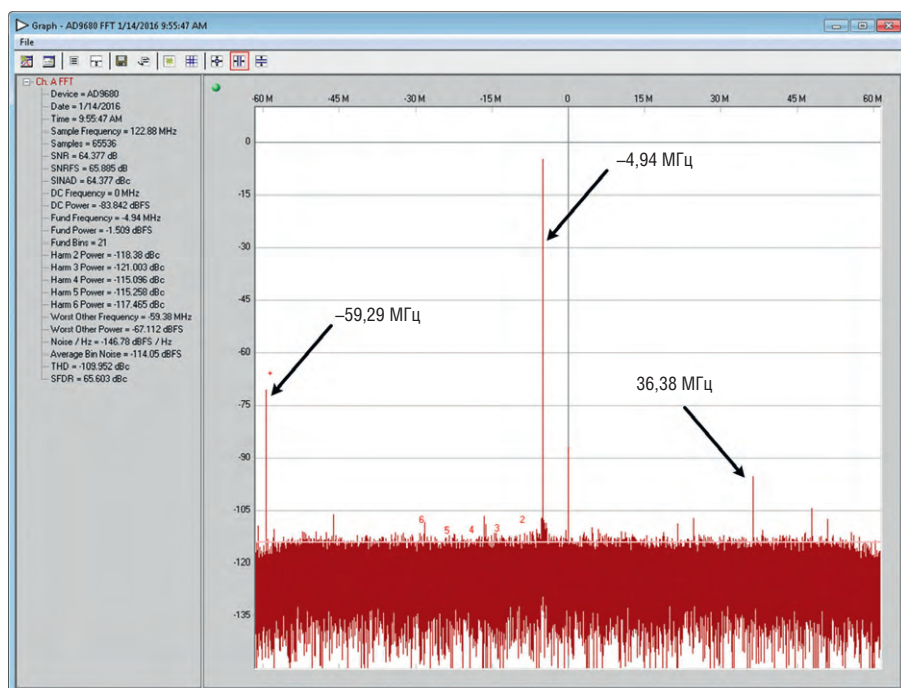


Рис. 18. Результаты фактических измерений комплексного сигнала на выходе ЦППЧ преобразователя AD9680-500, полученные с помощью VisualAnalog™

–59,28 МГц с амплитудой –67,122 дБ полной шкалы. Это означает, что в мнимой части за счёт фильтров децимации наблюдается ослабление примерно на 66 дБ.

Вторая гармоника находится на частоте 36,38 МГц и ослаблена примерно на 10 дБ. Третья гармоника отфильтрована до уровня шума измерения.

Необходимо отметить, что программа Virtual Eval не учитывает базовую частоту при расчётах соотношения сигнал/шум. Поэтому для того чтобы получить правильное значение, при настройке параметров работы с VisualAnalog™ необходимо исключить базовую частоту из результатов прямых измерений, выполненных с помощью анализатора спектров. Идея заключается в том, чтобы при выборе оптимального диапазона базовая частота не попала в выходной спектр.

Значение соотношения сигнал/шум, полученное с помощью прямых измерений, составляет 71,602 дБ полной шкалы. Это значение достаточно близко к результату модельных расчётов, выполненных с помощью программы Virtual Eval, – 71,953 дБ. Экспериментальное значение SFDR, равное 91,831 дБн, также хоро-

шо согласуется с расчётным значением 88,978 дБн.

В заключение можно сказать, что отладочные средства VisualAnalog™, FTT и Virtual Eval предоставляют пользователям уникальную возможность точного моделирования поведения АЦП при использовании различных параметров и режимов работы [9]. В частности, в случае использования АЦП с встроенным ЦППЧ, таких, например, как AD9680, AD9690, AD9691 и AD9684, перечисленные программные средства позволяют разработчику получать эшоры базовых частот, их гармоник, а также конфликтующих частот в реальном и комплексном виде и выбирать такой режим работы, при котором нежелательные частоты будут находиться вне пределов рабочего диапазона, насколько это возможно.

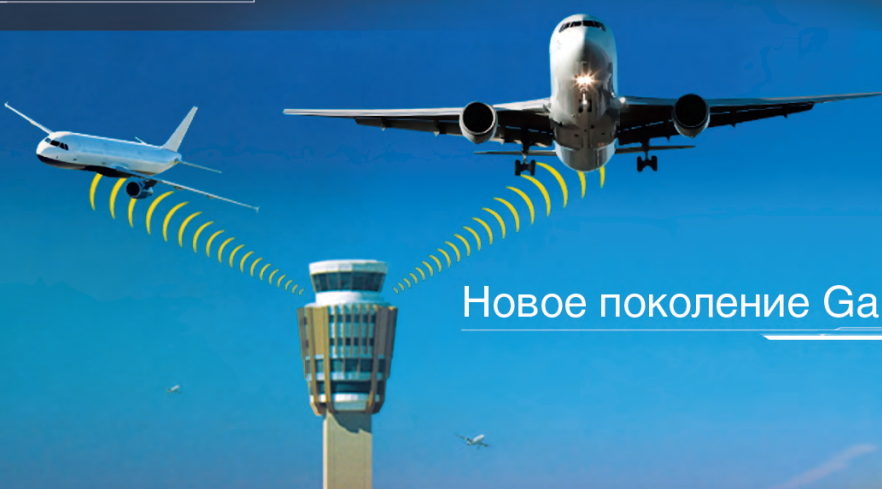
Поскольку агрегация несущих и прямое радиочастотное преобразование становятся всё более популярными в самых различных областях науки, техники, медицины и производства, отмеченные выше инструменты могут оказаться крайне полезными при разработке новейших образцов широкополосного оборудования.

Точное предсказание поведения АЦП, а также возможность создания реального частотного плана позволяют эффективно использовать отладочные средства AD в таких приложениях, как, например, военное и гражданское радиолокационное оборудование, системы наведения и контроля траектории, автоматические системы управления транспортом и многие другие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zou A. Digital Signal Processing in IF/RF Data Converters: www.analog.com
2. Jayamohan U. Not Your Grandfather's ADC: RF Sampling ADCs Offer Advantages in Systems Design: www.analog.com
3. Gigasample ADCs Promise Direct RF Conversion: www.electronicdesign.com
4. Frequency Folding Tool: www.analog.com
5. Harris J. What's Up With Digital Downconverters. Part 1: www.analog.com
6. Harris J. What's Up With Digital Downconverters. Part 2: www.analog.com
7. Virtual Eval Tool – BETA: www.analog.com
8. Harris J. What's Up With Digital Downconverters: www.allaboutcircuits.com
9. Jayamohan U. ADC Modeling Tools Speed Up Evaluation: www.analog.com





Новое поколение GaN-транзисторов



 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

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIPRU ■ WWW.PROCHIPRU





ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО
ВЫСОКОНАДЕЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ



ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки

- Модификация КД существующего изделия
- Разработка спецвычислителя на базе COM-модуля
- Конфигурирование модульного корпусированного изделия
- Сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика
- Разработка изделия с нуля



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Контрактная сборка электроники уровней: модуль / узел / блок / шкаф / комплекс

- ОКР, технологические консультации и согласования
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Полное комплектование производства импортными и отечественными компонентами и материалами
- Поддержание складов, своевременное анонсирование снятия с производства, подбор аналогов
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания по методикам и ТУ
- Гарантийный и постгарантийный сервис

Синтез антенн MIMO для компактных устройств в AntSyn

National Instruments AWR

В статье рассказывается о возможностях программного обеспечения AntSyn от NI AWR для моделирования антенн MIMO. На практических примерах показано, как можно достичь высоких показателей, необходимых для современных систем Интернета вещей и мобильной связи 5-го поколения.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевыми элементами систем связи 5-го поколения (5G) и Интернета вещей (IoT) являются специализированные антенны, имеющие улучшенные характеристики, меньшие стоимость и габариты.

За счёт использования нескольких антенн технология MIMO (многоканальный вход – многоканальный выход) позволяет обеспечить лучшую производительность и стабильность беспроводных устройств. Однако данная технология требует не только хорошего качества отдельных антенн, но и высокого коэффициента развязки между ними. Развязку можно обеспечить

пространственным разнесением элементов, но такое решение приводит к увеличению размеров устройства и/или требует использования дополнительных внешних антенн. Для создания развязки применяются дроссели, согласующие цепи и другие способы, каждый из которых обладает собственными преимуществами и недостатками.

Оптимизация антенн вручную для получения требуемых характеристик устройства (рабочая полоса, КПД антенны, согласование импеданса и т.д.) – весьма трудоёмкий процесс, требующий множества итераций моделирования и серьёзного опыта проектирования.

В данной статье рассматривается альтернативный подход, в основе которого лежит использование инструмента синтеза и оптимизации антенн AntSyn от NI AWR. Применение AntSyn позволяет разработчикам автоматически проектировать сложные антенные устройства, например компактные антенные решётки MIMO на основе вводимых спецификаций, что существенно сокращает затраты времени и сил при решении подобного рода задач.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО СПЕЦИФИКАЦИИ

Удобный инструмент проектирования AntSyn сочетает в себе продвинутые алгоритмы оптимизации и электродинамического моделирования и позволяет получить ожидаемый результат ещё до создания прототипа.

В рассматриваемом далее примере в спецификацию входят такие параметры, как рабочая полоса, потери на отражении, размер, конструкция и взаимное влияние элементов. Эти требования вводятся посредством специального интерфейса, с помощью которого автоматически создаётся файл проекта. Частично данный интерфейс показан на рисунке 1, где в соответствующие поля вводятся значения параметров антенны MIMO. После запуска синтеза AntSyn предложит несколько оптимизированных конструкций антенны, результаты моделирования которых отображаются в настраиваемой панели вывода данных (см. рис. 2).

Панель вывода данных может быть настроена для отображения трёхмерной модели антенны, частотных зависимостей входного импеданса или максимального коэффициента усиления, срезов диаграммы направленности и рейтинговой оценки качества конструкции. Эти и другие результаты помогают быстро оценить и выбрать наиболее подходящий вариант. AntSyn может использоваться для синтеза многих типов антенн: одно-, двух-, многодиапазонных, широко- и сверхширокополосных (>100:1) антенн, антенны с высоким КПД, электрически малых антенны, фазированных антенных решёток, проволочных, конформ-

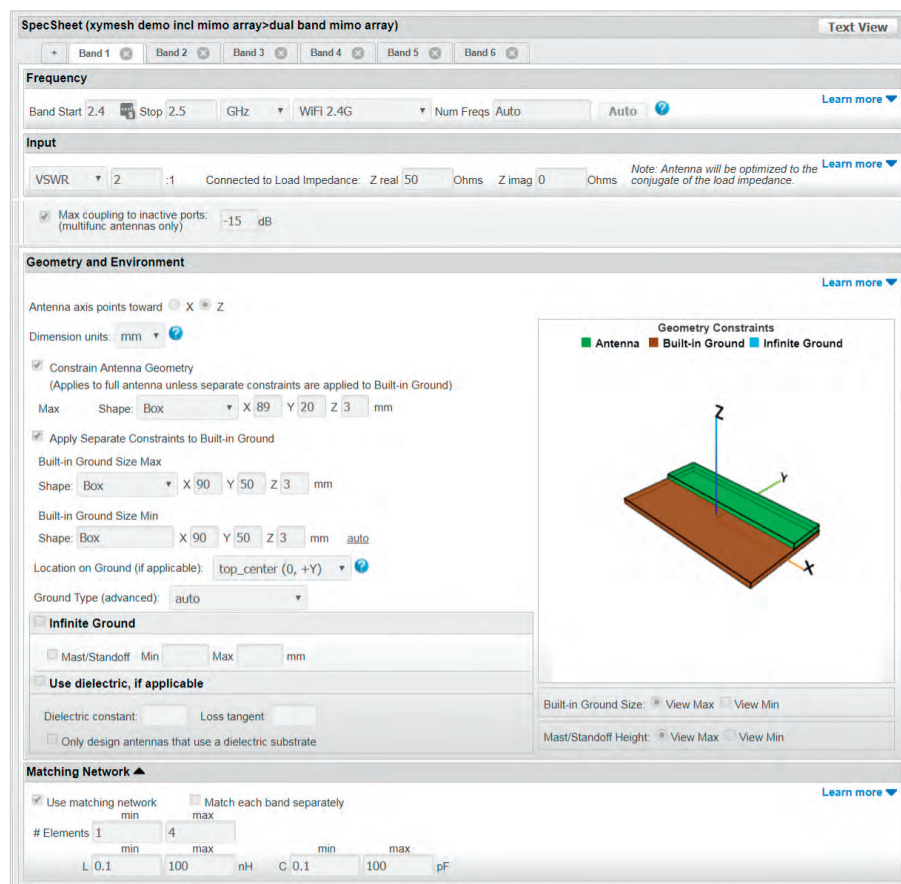


Рис. 1. Область интерфейса ввода спецификаций AntSyn для проекта MIMO

ных, рупорных и патч-антенн, антенн двойной поляризации и многоцелевые антенны. AntSyn предлагает 29 типов антенн и имеет набор специальных средств для создания компактных антенн МИМО, включая новые машинно генерируемые многоцелевые решётчатые антенны с несколькими портами, усовершенствованные методы оптимизации согласующих цепей, позволяющие оптимизировать каждый порт по отдельности, а также инструменты работы с заземляющими плоскостями.

Отдельно стоит отметить уникальность и гибкость новых конструкций решётчатых антенн – набора из 4 типов антенн с 2 или 3 портами (в дальнейшем количество поддерживаемых портов будет увеличено). Эти порты могут независимо работать в разных диапазонах частот и иметь различные спецификации, например по поляризации или диаграмме направленности. Решётка антенн оптимизируется в AntSyn в соответствии с заданными требованиями, при этом возможности настроек позволяют программному обеспечению, по сути, изобретать новые антенны.

Изображения таких антенн представлены на рисунке 3. Два типовых варианта решётчатой антенны могут быть размещены в углу, на краю заземления или в центре, как показано на рисунке 3. Заземление может быть сплошным или в виде оптимизированной решётки. В копланарном монополюсном исполнении заземления под решёткой нет, однако предполагается, что конструкция проецируется за край заземления, что в ряде случаев может быть полезно.

В следующих примерах рассматривается копланарный монополюс, обладающий очень широкой рабочей полосой и достаточной гибкостью для применения в малоразмерных системах. Будет показано, как на основе этих антенн AntSyn может синтезировать массивы МИМО с отличными характеристиками, высоким коэффициентом развязки и хорошим согласованием импедансов.

ПРИМЕРЫ

При создании двух- и трёхпортовых антенн МИМО для условного компактного устройства использовались новые возможности последней версии AntSyn.

К условному устройству предъявлялись следующие требования:

- двухдиапазонный Wi-Fi – 2,4/5 ГГц;
- стандартные размеры устройств Интернета вещей;

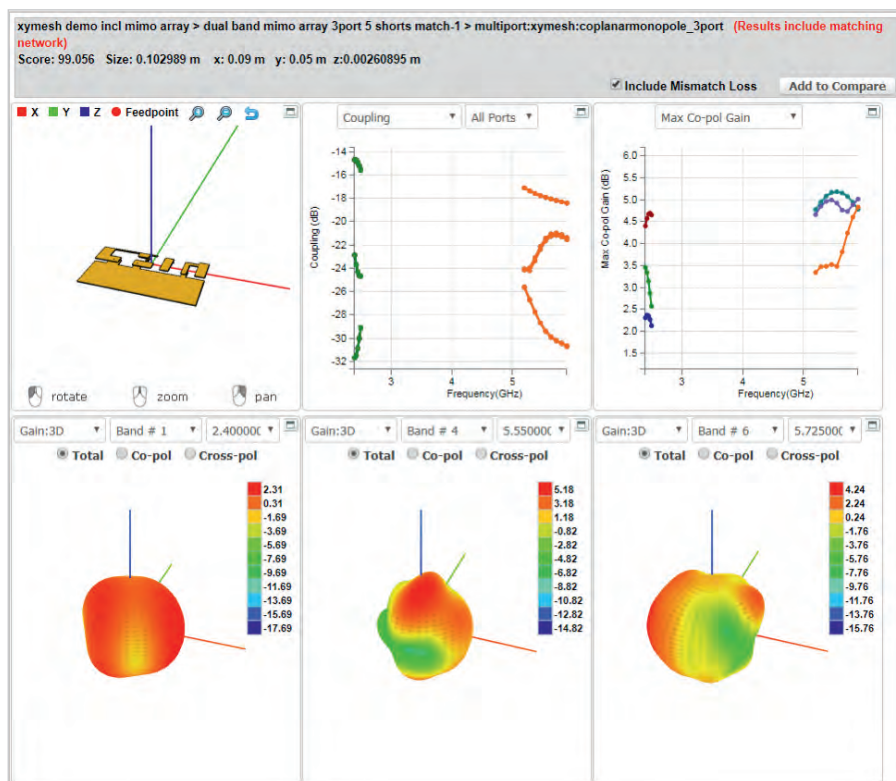


Рис. 2. Предлагаемая конструкция антенны после выполнения расчётов

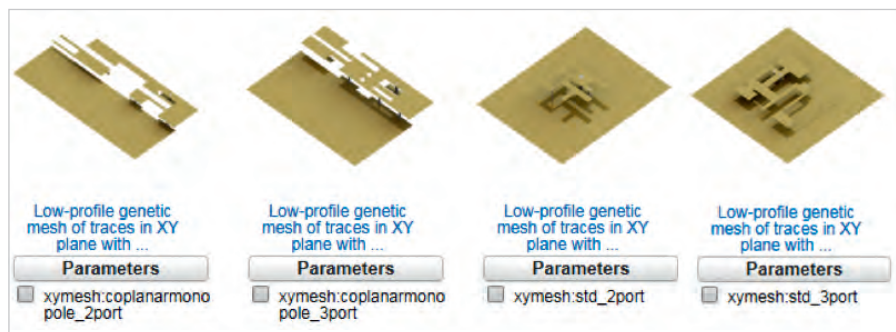


Рис. 3. Примеры решётчатых антенн в библиотеке AntSyn

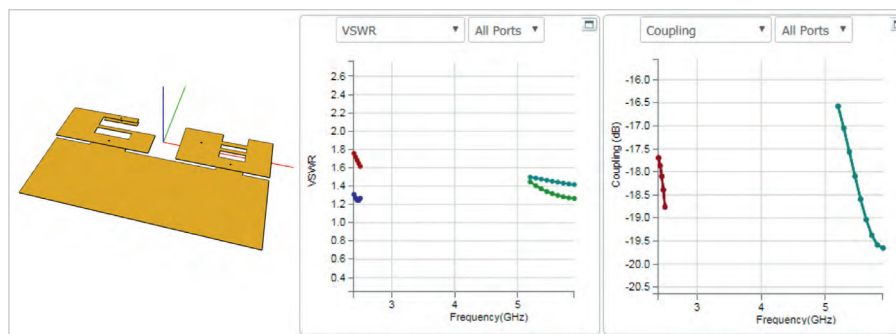


Рис. 4. Двухпортовая антенна МИМО, значения КСВН и коэффициента связи, полученные в AntSyn

- планарное исполнение;
- размер порядка визитки 90×50 мм;
- интеграция антенны и электронной «обвязки»;
- размещение антенн вдоль длинной грани;
- МИМО:
 - 2 или 3 порта для приёма и передачи;

- максимальная развязка между портами.

Сначала двухпортовая антенна МИМО на основе многоцелевого решётчатого копланарного монополя была оптимизирована в AntSyn. На рисунке 1 показаны спецификации, введённые в интерфейс AntSyn, за исключением использования согласующей цепи. В данном случае в

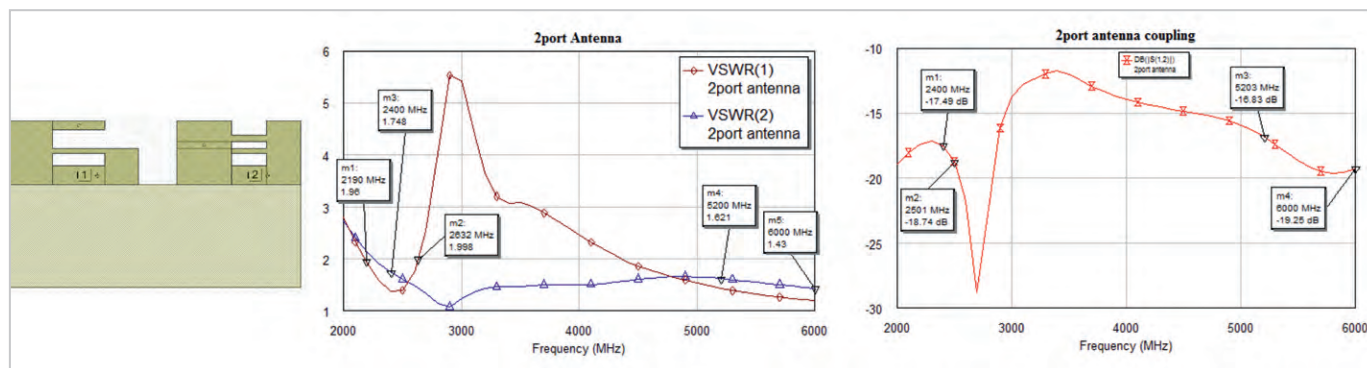


Рис. 5. Результаты моделирования в AXIEM

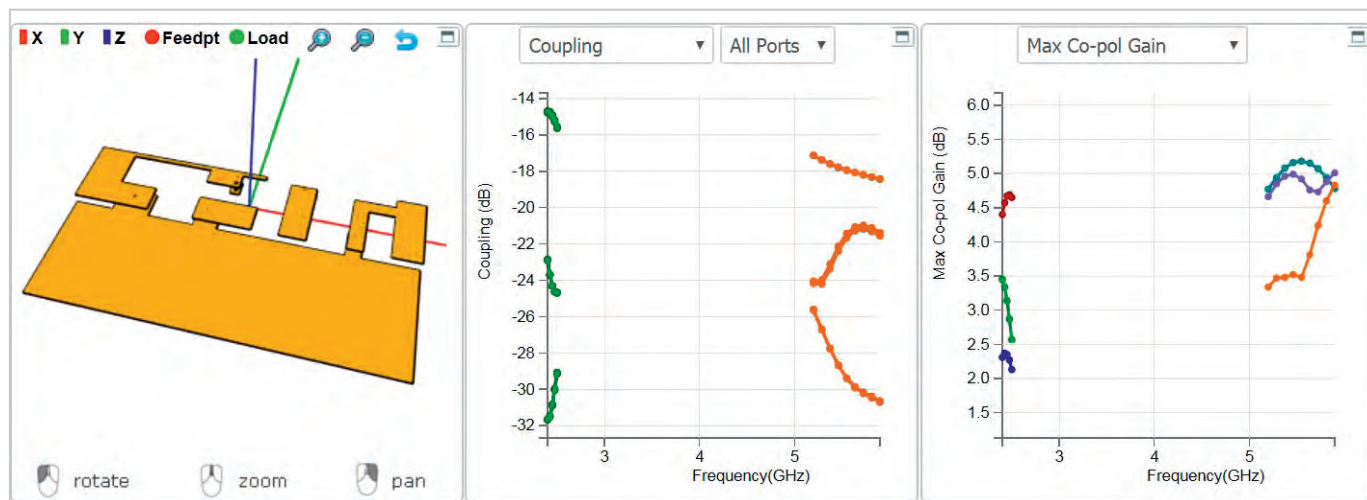


Рис. 6. Характеристики трёхпортовой антенны MIMO в AntSyn

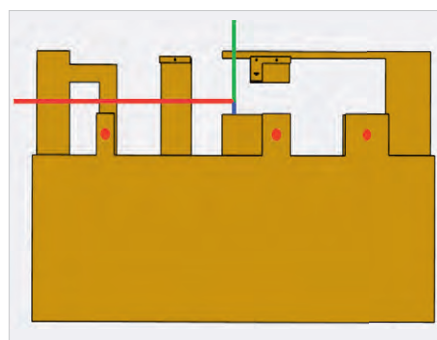


Рис. 7. Трёхпортовая антенна MIMO (вид снизу)

качестве диэлектрика выступал воздух. Полученная конструкция антенны и её характеристики показаны на рисунке 4.

Созданная антенна обладает хорошими значениями коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и коэффициента связи в двух диапазонах Wi-Fi на обоих портах. Максимальное значение КСВН достигает 1,8, а коэффициент связи составляет –16,5 дБ. На самой низкой частоте края антенны находятся на удалении менее 0,093 длины волны, а порты разнесены только на 0,41 длины волны. Как можно видеть, формы двух элементов схожи, но не идентичны, что является ожидаемым результатом, помогающим обеспечить качественную развязку.

Данная конструкция была импортирована в NI AWR Design Environment для дальнейшего анализа в Microwave Office в планарном электромагнитном симуляторе AXIEM во всём диапазоне частот от 2 до 6 ГГц. Результаты, представленные на рисунке 5, хорошо согласуются с оценкой AntSyn – в худшем случае коэффициент связи составляет –16,8 дБ. Отметим, что КСВН и коэффициент связи несколько увеличиваются в промежуточном диапазоне Wi-Fi, однако внутриполосные характеристики остаются очень хорошими.

При помощи AntSyn также была оптимизирована трёхпортовая конструкция с теми же спецификациями и ограничениями по размеру (см. рис. 1). На этот раз для улучшения характеристик антенны использовалась согласующая цепь. Максимальный КСВН антенны оказался равным 1,8, а коэффициент связи между двумя ближайшими портами (правым и центральным на рисунке 6) составил –14,7 дБ. Заметим, что расстояние между этими портами на частоте 2,4 ГГц составило всего 0,163 длины волны с минимальным разнесением элементов в 0,048 длины волны. Расстояние от центрального до левого

порта (см. рис. 7) составило 0,31 длины волны.

Формы элементов антенны ещё более различны по сравнению с двухпортовым исполнением. По сути, AntSyn создал различные антенны для каждого порта, при этом между левым и центральным портом было размещено экранирующее ограждение. Такая сложная конструкция была сгенерирована в AntSyn автоматически, что наглядно демонстрирует мощность и устойчивость генетических алгоритмов, используемых для оптимизации нестандартных конструкций и поиска наилучших решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях растущей потребности в высокопроизводительных и доступных антеннах для применения в системах связи 5-го поколения и устройствах Интернета вещей инструмент синтеза и оптимизации AntSyn позволяет разработчикам антенн, в том числе и компактных массивов MIMO, решать самые сложные задачи для перспективных проектов.

Узнать больше об AntSyn можно на официальном сайте awrcorp.com/antsyn.



Свобода проектирования



САПР электроники

В состав Delta Design, обеспечивающей сквозной цикл проектирования печатных плат, входят модули:

- Менеджер библиотек
- Схемотехнический редактор
- Схемотехническое моделирование
- HDL-симулятор
- Редактор правил
- Редактор печатных плат
- Топологический редактор плат TopoR
- Коллективная работа для предприятий

Интерактивная трассировка в среде Altium Designer

Часть 3. Правила и редактирование

Алексей Якубенко (support@idstrade.com)

В предыдущих частях статьи были рассмотрены основные принципы, инструменты и настройки интерактивной трассировки. В данной части будут описаны правила, которые непосредственно связаны с прокладкой проводников, а также инструменты редактирования проложенных проводников.

ПРАВИЛА

Технология изготовления печатной платы (ПП) оказывает прямое влияние на такие её конструктивные параметры, как ширина проводников, зазоры между различными элементами топологии и геометрические параметры переходных отверстий (ПО). Своевременный учёт данных параметров в процессе разработки ПП может значительно сократить время проектирования и повысить его эффективность. В среде Altium Designer (AD) данные параметры задаются с помощью правил типа *Electrical* → *Clearance*, *Routing* → *Width*, *Manufacturing* → *Board Outline Clearance* и *Routing* → *Routing Via Style*.

Далее будет рассмотрена настройка правил указанных типов.

Правила типа *Electrical* → *Clearance*

Наиболее часто применяемый тип правил – *Electrical* → *Clearance*. Его

назначение состоит в определении величин зазоров между различными объектами токопроводящих слоёв.

В окне редактора правил все правила данного типа сгруппированы в разделе *Electrical* → *Clearance* (см. рис. 1). Величины зазоров определяются с помощью опций, представленных в поле *Constraints*. Если величина зазоров должна быть одинакова для всех объектов топологии, то её достаточно задать с помощью опции *Minimum Clearance*. Правее схематичного изображения проводника находится пункт *Ignore Pad to Pad clearances within a footprint*. Выбор этого пункта отменяет проверку зазоров между контактными площадками (КП), которые относятся к одному посадочному месту (ПМ).

Если необходимо сформировать разные значения зазоров для разных объектов топологии, то сделать это мож-

но с помощью таблицы зазоров, расположенной чуть ниже. Каждая строка и каждый столбец таблицы соответствуют определённому объекту топологии. Зазор задаётся отдельно для каждой пары объектов. Для этого первым щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ) выделяется ячейка, расположенная на пересечении строки одного объекта и столбца второго, а вторым щелчком она активируется, после чего вводится новое значение. На рисунке 1 отображён упрощённый вариант таблицы. Переход к расширенному варианту производится с помощью переключателя *Simple/Advanced*, расположенного над таблицей. Строки и столбцы таблицы зазоров соответствуют следующим объектам топологии:

- *Arc* (в расширенной таблице) – дуга;
- *Track* – отрезок (в расширенной таблице) или отрезок и дуга (в упрощённой таблице);
- *SMD Pad* – КП поверхностного монтажа;
- *TH Pad* – КП монтажа в отверстия;
- *Via* – ПО;
- *Copper* (в упрощённой таблице) – полигональные объекты;
- *Fill* (в расширенной таблице) – прямоугольная заливка;
- *Poly* (в расширенной таблице) – полигон;
- *Region* (в расширенной таблице) – регион;
- *Text* – текстовая строка;
- *Hole* – отверстие [1].

Правила типа *Routing* → *Width*

Не менее важный тип правил – *Routing* → *Width*: с помощью него определяются предельные и предпочитаемые значения ширины проводников.

В окне редактора правил все правила данного типа сгруппированы в разделе *Routing* → *Width* (см. рис. 2). Настройка правила производится с помощью опций, представленных в поле *Constraints*. На схематичном изображении проводника имеются следующие основные опции:

- *Min Width* – минимально допустимая ширина проводника;
- *Preferred Width* – предпочитаемая ширина проводника;

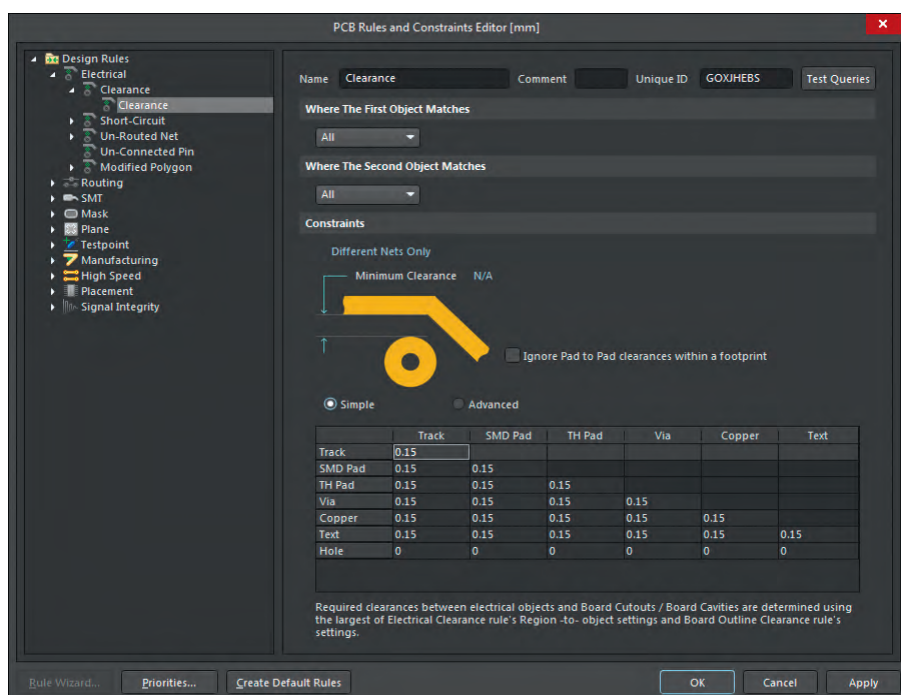


Рис. 1. Окно *Electrical* → *Clearance* в редакторе правил

- *Max Width* – максимально допустимая ширина проводника.

В нижней части области находится таблица, с помощью которой можно задать указанные значения отдельно для каждого слоя.

Правее схематичного изображения проводника можно найти переключатель режимов проверки ширины проводников; он имеет следующие положения:

- *Check Tracks/Arcs Min/Max Width Individually* – независимая проверка каждого отрезка и каждой дуги;
- *Check Min/Max Width for Physically Connected Copper (tracks, arcs, fills, pads & vias)* – проверка подключённых элементов топологии (отрезков, дуг, прямоугольных заливок, КП и ПО) с учётом прохождения тока.

Суть режима проверки проводников с учётом прохождения тока состоит в том, чтобы удостовериться в отсутствии на пути следования тока по проводящим линиям узких мест с шириной меньше указанной с помощью опции *Min Width* (в то же время не подключённые ни к каким цепям отрезки и дуги также проверяются по отдельности).

На рисунке 3 приведён пример, характеризующий разницу между двумя режимами проверки: на рисунке 3а представлен результат в режиме независимой проверки, а на рисунке 3б – в режиме проверки с учётом прохождения тока. В первом случае ошибка была найдена только в ширине проводника, расположенного на зелёном слое. Во втором случае было обнаружено, что на красном слое в месте соединения недоведённого проводника и ПО образуется узкое место с недостаточной шириной, выделенное в результате маркером ошибки.

Под переключателем режимов проверки расположен пункт *Characteristic Impedance Driven Width*, выбор которого переводит правило в режим определения ширины проводника в зависимости от комплексного сопротивления. Ещё ниже находится пункт *Layers in layerstack only*. При выборе этого пункта в таблице, расположенной в нижней части области, отображаются только те сигнальные слои, которые входят в стек текущей ПП. При снятии галочки выбора в таблице отобразятся все 32 доступных в среде AD сигнальных слоя [2].

Правила типа **Routing** → **Routing Via Style**

Правила типа *Routing* → *Routing Via Style* предназначены для определе-

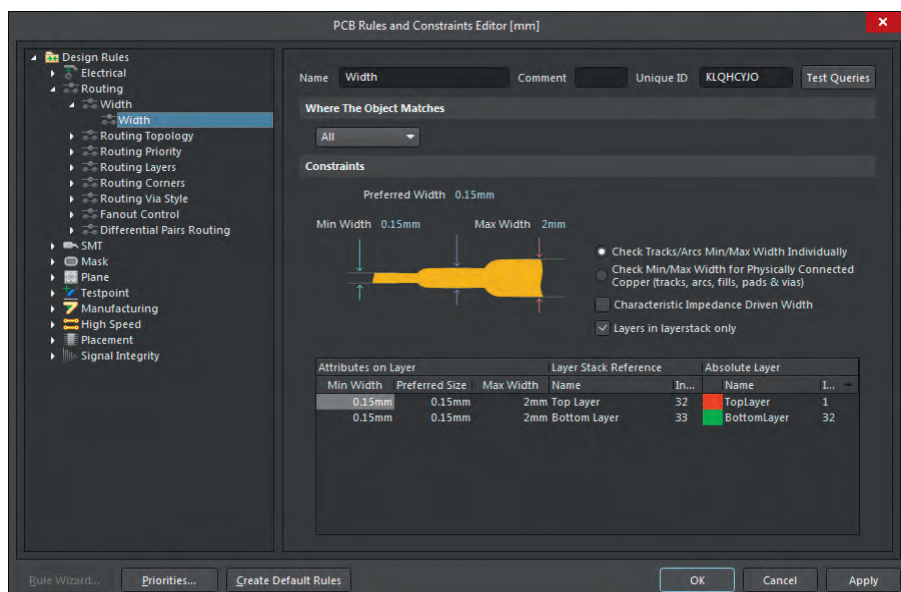


Рис. 2. Окно **Routing** → **Width** в редакторе правил

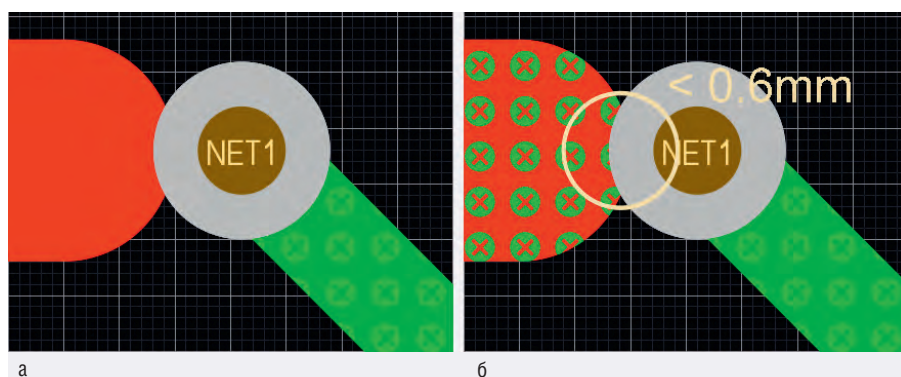


Рис. 3. Режимы проверки ширины проводников: а) независимая проверка элементов топологии; б) проверка с учётом прохождения тока

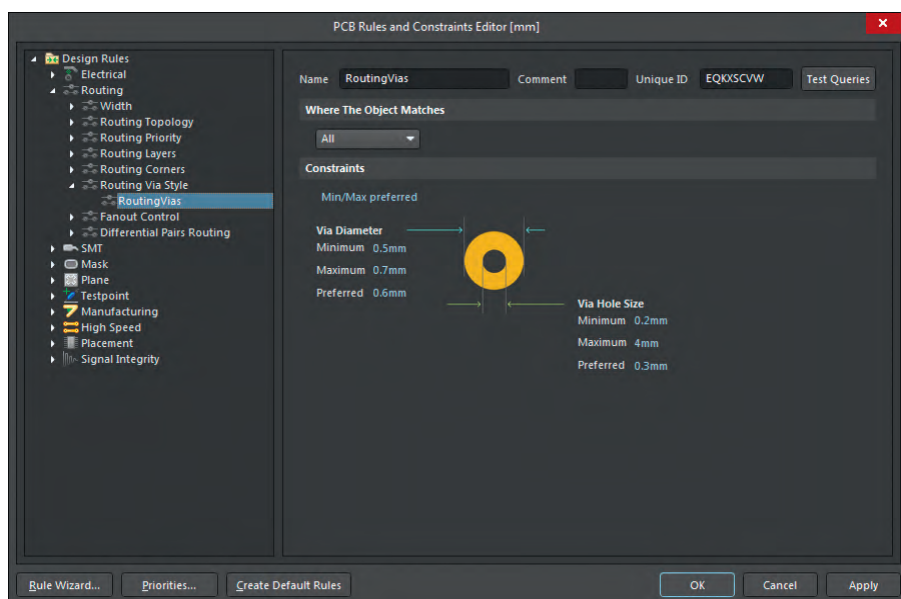


Рис. 4. Окно **Routing** → **Routing Via Style** в редакторе правил

ния предельных и предпочитаемого значений диаметров ПО и его КП. В окне редактора правил все правила данного типа сгруппированы в разделе *Routing* → *Routing Via Style*

(см. рис. 4). Настройка правила производится с помощью опций, представленных в поле *Constraints*. На схематичном изображении ПО имеются следующие основные опции:

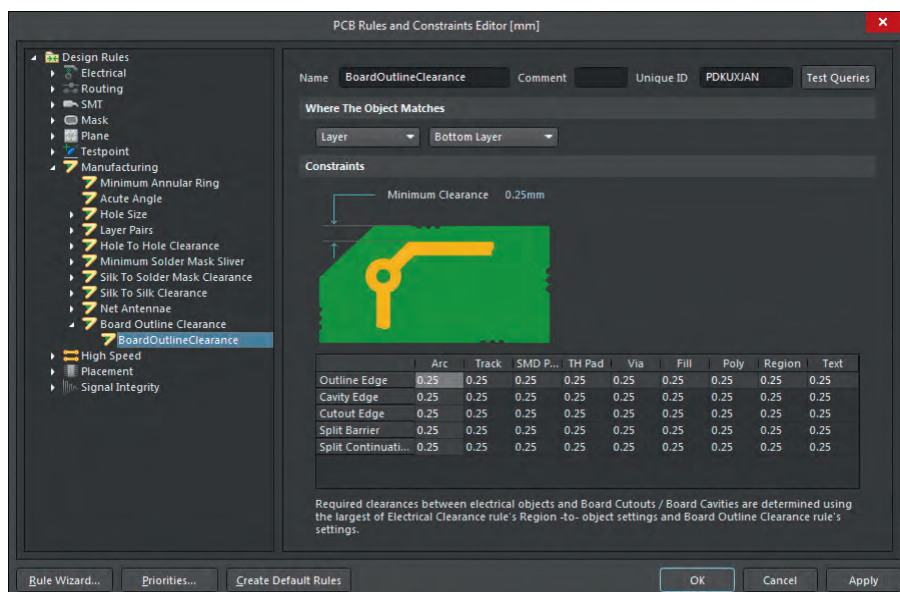


Рис. 5. Окно **Manufacturing** → **Board Outline Clearance** в редакторе правил

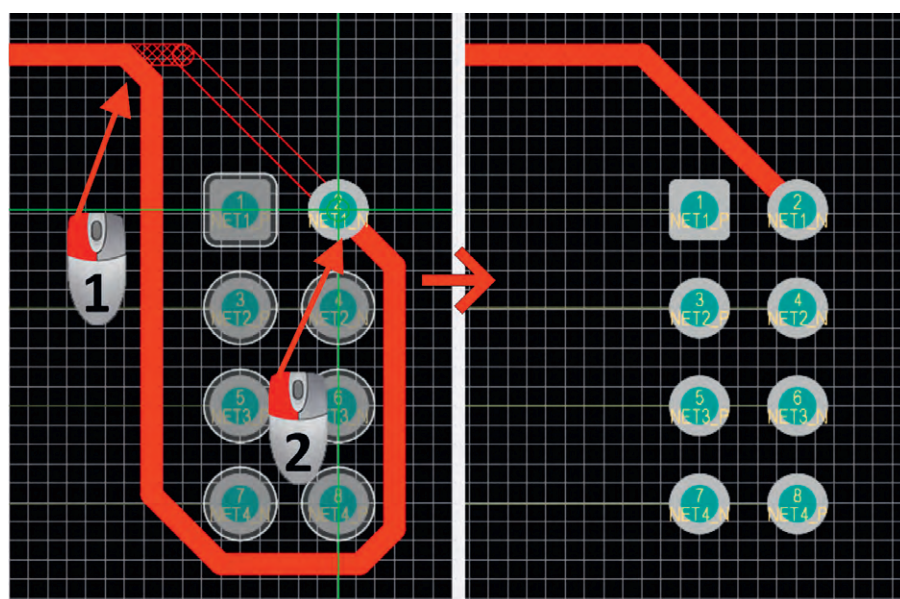


Рис. 6. Пример редактирования проводника за счёт удаления петли

- **Via Diameter:**
 - *Minimum* – минимально допустимый диаметр КП ПО;
 - *Maximum* – максимально допустимый диаметр КП ПО;
 - *Preferred* – предпочитаемый диаметр КП ПО;
- **Via Hole Size:**
 - *Minimum* – минимально допустимый диаметр ПО;
 - *Maximum* – максимально допустимый диаметр ПО;
 - *Preferred* – предпочитаемый диаметр ПО [3].

Правила типа **Manufacturing** → **Board Outline Clearance**

Не менее важный конструкторско-технологический параметр – минимальное расстояние от элементов топологии

до краёв ПП. За этот параметр отвечают правила типа **Manufacturing** → **Board Outline Clearance**. В окне редактора правил все правила данного типа сгруппированы в разделе **Manufacturing** → **Board Outline Clearance** (см. рис. 5).

Приёмы работы с правилами данного типа аналогичны приёмам работы с правилами типа **Electrical** → **Clearance**. Величины отступов определяются с помощью опций, представленных в поле **Constraints**. Если величина отступов всех элементов топологии от всех видов границ платы должна быть одинаковой, то её достаточно задать с помощью опции *Minimum Clearance*. Если же для разных элементов топологии или разных видов границ ПП необходимо определить разные значения отступов, то это можно сделать с

помощью расположенной ниже таблицы отступов. Каждая строка таблицы соответствует одному из типов границы ПП:

- *Outline Edge* – внешняя граница ПП;
- *Cavity Edge* – граница полости для расположения компонента внутри ПП;
- *Cutout Edge* – граница выреза в ПП;
- *Split Barrier* – граница разделения стеков слоёв;
- *Split Continuation* – продолжение границы разделения стеков слоёв.

Каждый столбец таблицы соответствует определённому объекту топологии:

- *Arc* – дуга;
- *Track* – отрезок;
- *SMD Pad* – КП поверхностного монтажа;
- *TH Pad* – КП монтажа в отверстия;
- *Via* – ПО;
- *Fill* – прямоугольная заливка;
- *Poly* – полигон;
- *Region* – регион;
- *Text* – текстовая строка [4].

Редактирование проводников

Как в случае прокладки проводников, так и в случае их редактирования среда AD предоставляет разработчикам ряд удобных и эффективных инструментов по изменению топологии.

В первой части статьи были рассмотрены настройки *Automatically Remove Loops* и *Remove Net Antennas*, которые позволяют редактору ПП автоматически удалять петли и «антенны» [8]. Очевидно, что данный механизм предоставляет разработчикам удобный инструмент по редактированию проложенных проводников. Суть в том, что при необходимости изменить трассу проводника достаточно просто проложить новую трассу, которая будет начинаться и заканчиваться на элементах старой. В результате образуются одна или несколько петель. Редактор ПП избавится от этих петель за счёт удаления части старой трассы (см. рис. 6). Таким способом можно «перерисовать» как весь проводник, так и его часть.

Наиболее примитивный способ редактирования проложенных проводников – удаление старых трасс и прокладка новых. Можно удалить как один сегмент, предварительно выделив его ЛКМ, так и группу сегментов, выделив их сочетанием клавиш *Shift* + ЛКМ. Кроме того, можно выделить один из сегментов проводника и нажать клавишу *Tab* – в результате будут выделены все

последовательно сопряжённые сегменты, находящиеся на том же слое.

Un-Route

Удалять вручную элементы проводников – дело достаточно неблагодарное, особенно когда речь идёт о большом количестве цепей. На этот случай предусмотрена группа команд *Un-Route*. Одноимённый пункт располагается в самом низу меню *Route*. Здесь доступны следующие команды:

- *All* (горячие клавиши $U \rightarrow U \rightarrow A$) – полное удаление проводников всех цепей ПП;
- *Net* (горячие клавиши $U \rightarrow U \rightarrow N$) – полное удаление проводника одной цепи;
- *Connection* (горячие клавиши $U \rightarrow U \rightarrow C$) – удаление соединения;
- *Component* (горячие клавиши $U \rightarrow U \rightarrow O$) – удаление всех подключённых к компоненту проводников;
- *Room* (горячие клавиши $U \rightarrow U \rightarrow R$) – удаление всех цепей, относящихся к определённой области.

При выполнении любой из указанных команд происходит удаление отрезков и дуг, из которых состоят проводники, а также ПО. Полигональные объекты не удаляются.

Для полного удаления всех проводников ПП достаточно просто выполнить команду *Route* → *Un-Route* → *All*. В случае остальных команд после их запуска редактор ПП перейдёт в режим удаления, а курсор, в зависимости от настроек, примет вид большого или малого перекрестия под углом 90° или малого перекрестия под углом 45°. В данном режиме необходимо щёлкнуть ЛКМ по:

- сегменту проводника или контактной площадке – в случае удаления проводника или соединения;
- компоненту – в случае удаления подключённых к компоненту проводников;
- области – в случае удаления цепей, относящихся к определённой области.

Для выхода из режима удаления нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши (ПКМ) или нажать клавишу *ESC*.

Различие между командами *Route* → *Un-Route* → *Net* и *Route* → *Un-Route* → *Connection* в том, что в первом случае происходит полное удаление всего проводника цепи, а во втором удаляется только соединение между двумя ближайшими конечными точками, например между двумя КП или между КП и концом недоведённого проводни-

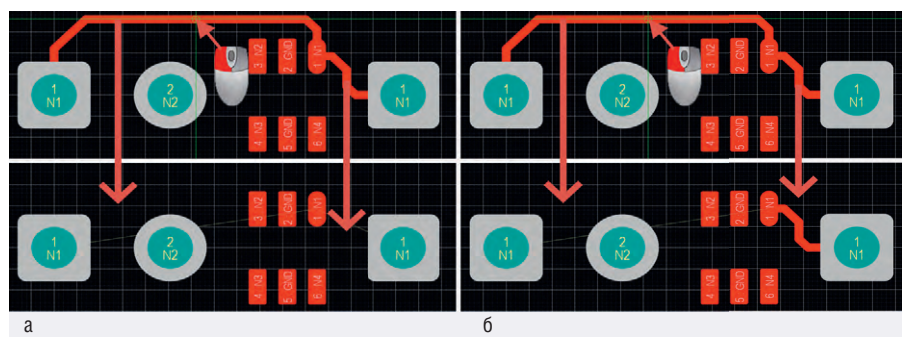


Рис. 7. Разница между командами: а) *Un-Route* → *Net*; б) *Un-Route* → *Connection*

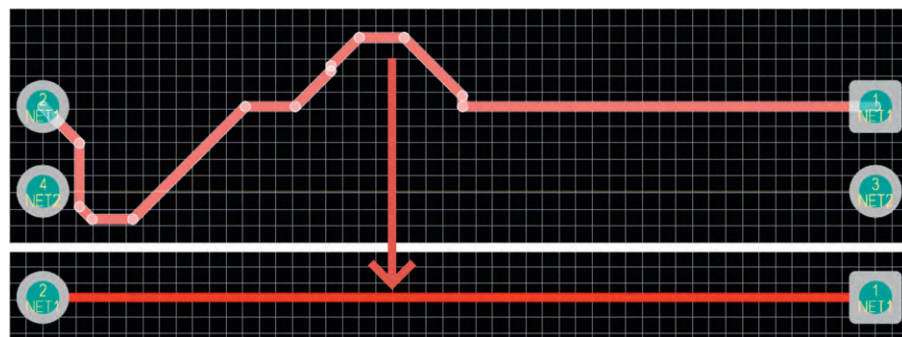


Рис. 8. Оптимизация отдельной цепи

ка. На рисунке 7 приведены примеры, поясняющие данную разницу [5].

Gloss Selected

Ранее, в первой части статьи [8], мы уже рассматривали применение механизма *Gloss*. Напомним, *Gloss* представляет собой механизм оптимизации цепи, т.е. прокладки проводника таким образом, чтобы он имел наименьшую длину и наименьшее количество изгибов. В первой части речь шла о применении данного механизма в процессе прокладки нового проводника. Сейчас рассмотрим применение этого механизма для уже проложенных трасс цепей.

В общем случае для оптимизации уже проложенных проводников необходимо выполнить два действия:

1. Выбрать проводники или их части, которые необходимо оптимизировать.
2. Запустить команду *Route* → *Gloss Selected* (горячие клавиши $U \rightarrow L$ или $Ctrl + Alt + G$). Выбранные проводники или их части будут оптимизированы.

Механизм оптимизации *Gloss* применим к отдельному проводнику, дифференциальной паре или группе проводников. Более того, можно оптимизировать цепи как целиком, так и их фрагменты. Если необходимо оптимизировать проводник полностью, то для этого нужно выбрать все его сегменты (см. рис. 8). Чтобы оптимизировать фрагмент проводника, необходи-

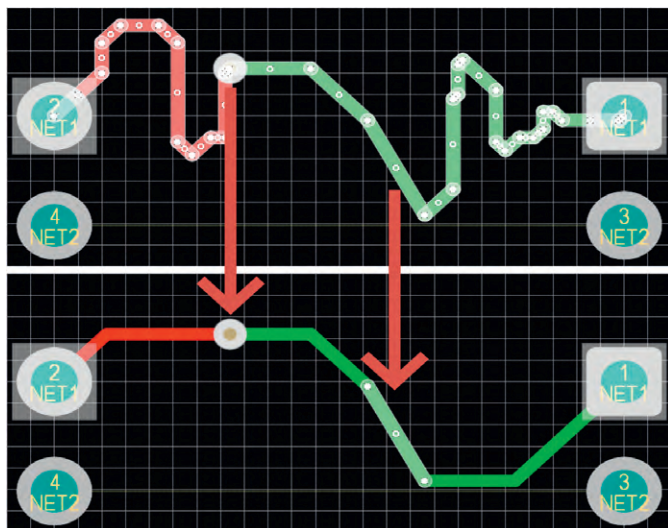
мо выбрать только те сегменты, которые входят в соответствующую часть. Необходимо при этом иметь в виду, что при оптимизации фрагмента его крайние точки остаются на месте.

Можно также оптимизировать проводники, переходящие со слоя на слой или имеющие в своём составе перемычки, однако при этом перемычки и ПО остаются на месте. Кроме того, не оптимизируются сегменты, расположенные под произвольным углом (см. рис. 9). Необходимо обратить внимание, что при построении нового проводника среда AD использует только стандартные сегменты, расположенные под углами 45° и 90°.

При необходимости оптимизировать группу проводников перед запуском команды *Route* → *Gloss Selected* нужно также выбрать все сегменты всех оптимизируемых проводников.

Для оптимизации дифференциальных пар также необходимо выбирать все сегменты всех оптимизируемых проводников (см. рис. 10).

Однако здесь есть ряд нюансов, отличных от остальных случаев оптимизации. В данном случае редактор ПП «понимает», что он работает именно с дифференциальными парами, поэтому применяет механизмы, свойственные трассировке дифференциальных пар – система ориентируется на правила соответствующего типа, выполняет правильные отводы от КП. Кроме того, редактор пытается



Примечание: при оптимизации переходные отверстия и сегменты, расположенные под произвольным углом, остаются на месте

Рис. 9. Оптимизация сегментов

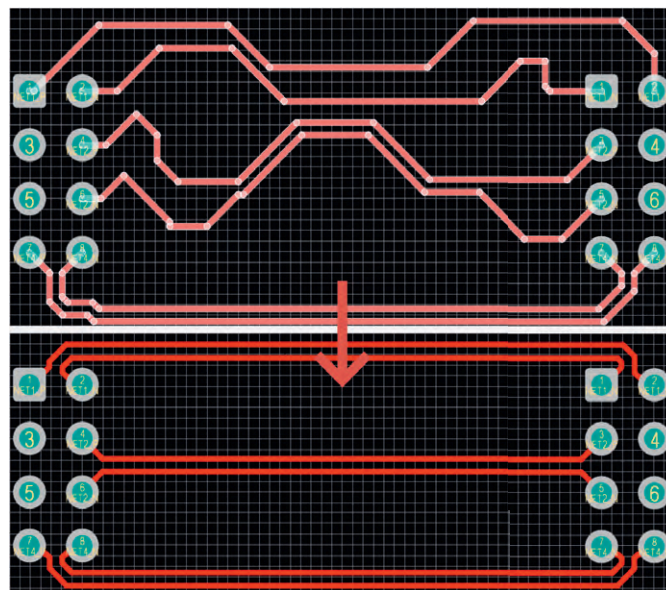


Рис. 10. Оптимизация дифференциальных пар

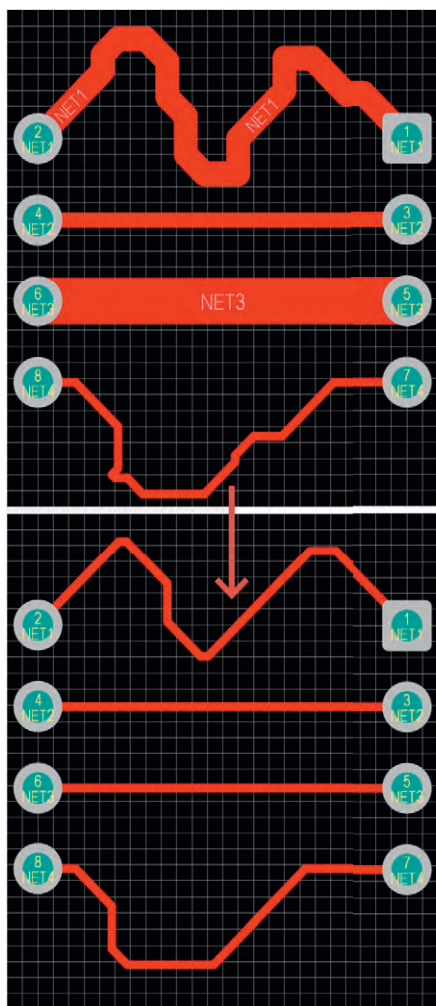


Рис. 11. Применение команды *Route -> Retrace Selected*

проложить новые трассы таким образом, чтобы выравнивать длины проводников, входящих в дифференциальную пару. Обратите внимание: если при этом достигнуть равенства длин проводников не получается, специ-

ализированные механизмы выравнивания длин всё же не применяются [6].

Retrace Selected

Ещё одним удобным инструментом корректировки проложенных проводников является команда *Route -> Retrace Selected*. Её назначение в том, чтобы применить к выбранным проводникам или их фрагментам параметры ширины или зазоров, определённые соответствующими правилами как предпочитаемые. Применение данной команды аналогично применению команды *Route -> Gloss Selected*: сначала необходимо выбрать сегменты или проводники полностью, а потом выполнить команду (см. рис. 11).

Так же как и команда *Route -> Gloss Selected*, команда *Route -> Retrace Selected* применима к отдельным проводникам, группам проводников, дифференциальным парам и отдельным фрагментам проводников.

При работе с дифференциальными парами есть особенность: с помощью этой команды можно легко менять зазор в проложенной паре. Для этого нужно поменять его предпочитаемое значение в соответствующем правиле, а потом применить команду.

В целом команды *Route -> Gloss Selected* и *Route -> Retrace Selected* подобны и даже используют один и тот же программный механизм. Основные отличия их в следующем:

- *Gloss* оставляет неизменной ширину проводника, а *Retrace* меняет её в соответствии со значением предпо-

читаемой ширины, прописанной в правилах;

- *Gloss* стремится максимально сократить длину проводника, что иногда приводит к радикальному изменению его трассы; *Retrace* лишь слегка корректирует проложенную трассу, делая её менее извилистой, если это необходимо (обратите внимание на трассы цепей NET1 и NET4 на рисунке 11) [7].

Как видно, фактически, все основные инструменты трассировки являются интерактивными, следовательно, значительно облегчают труд разработчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Altium. Documentation 2018. Clearance: www.altium.com
2. Altium. Documentation 2018. Width: www.altium.com
3. Altium. Documentation 2018. Routing Via Style: www.altium.com
4. Altium. Documentation 2018. Board Outline Clearance: www.altium.com
5. Altium. Documentation 2018. UnRoute: www.altium.com
6. Altium. Documentation 2018. Gloss: www.altium.com
7. Altium. Documentation 2018. Retrace: www.altium.com
8. Якубенко А. Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 1. Трассировка отдельной цепи. Современная электроника. 2018. № 3.
9. Якубенко А. Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 2. Трассировка дифференциальных пар и групп цепей. Современная электроника. 2018. № 4.



interlight

MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного
и технического освещения, электротехники
и автоматизации зданий

6–9 ноября 2018

ЦВК «Экспоцентр»

Москва



Компоненты | **NEW!**



Декоративное
освещение



Техническое
освещение



LED-технологии



Интегрированные
системы безопасности | **NEW!**



Электрические
лампы



Электротехника



Автоматизация зданий /
Умный дом



messe frankfurt

www.interlight-moscow.ru

BoardAssistant – универсальный инструмент формирования документации в среде Altium Designer

Вадим Иванов (v.ivanov@glavkon.com), Илья Левин (i.levin@glavkon.com)

Целью любого проектирования радиоэлектронных изделий является готовое работающее устройство. Для производства устройства на предприятии необходима конструкторская документация (КД), от правильности которой будет зависеть и скорость изготовления, и количество ошибок на разных этапах производства. Чем выше уровень автоматизации при разработке КД, тем эффективнее и корректнее будет работа инженеров. На новый уровень автоматизации позволяет выйти комплексное решение BoardAssistant, которое встраивается в Altium Designer.

Внедрение Altium Designer в реальный цикл проектирования на предприятии сопровождается множеством проблем, с которыми сталкиваются пользователи: от отсутствия корректной элементной базы до процесса оформления чертежей на печатные

платы. Последствиями этих проблем могут быть большие трудозатраты в создании базы элементов, её контроле, а также в длительном времени разработки конструкторской документации.

Система BoardAssistant позволяет решить множество подобных проблем и в полной мере получать эффективные результаты. Система является дополнением для Altium Designer и расширяет имеющийся функционал следующими инструментами:

- собственный интерфейс администрирования базы данных элементов;
- комплексная проверка электрических принципиальных схем;

- автоматизированное формирование чертежа схем, перечня элементов и ведомости покупных изделий;
- собственный модуль для разработки чертежей печатных плат.

Работа с базой данных элементов

Общая база данных элементов на предприятии позволяет работать с единым набором элементов всем сотрудникам, начиная от разработчика схемы и заканчивая сотрудником отдела закупок.

Система BoardAssistant предоставляет удобный интерфейс администрирования для стандартной DBLib-библиотеки Altium Designer со следующим функционалом:

- удобное разделение электрических радиоизделий (ЭРИ) по группам;
- ввод новых и изменение существующих элементов;
- быстрый поиск;
- удобный механизм редактирования посадочных мест, файлов справки и условного графического обозначения (УГО).

Использование штатных механизмов доступа к базе данных (БД) (см. рис. 1)

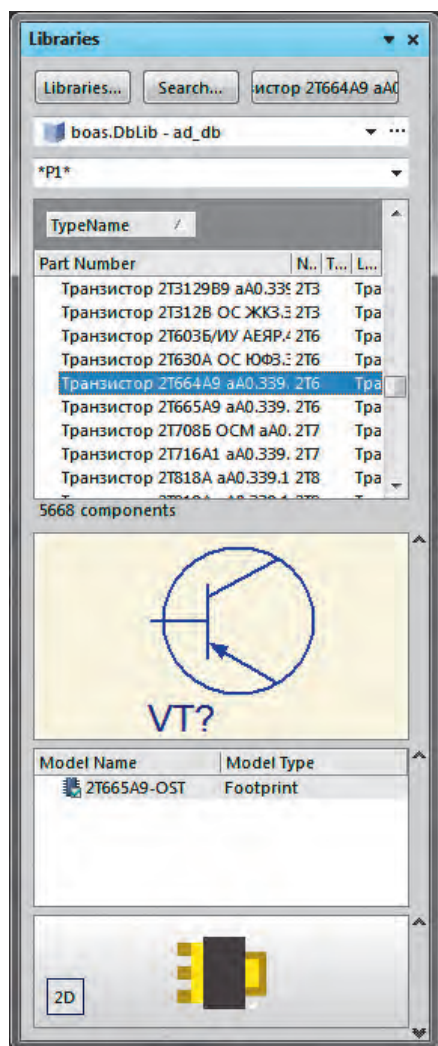


Рис. 1. Панель доступа к базе данных элементов

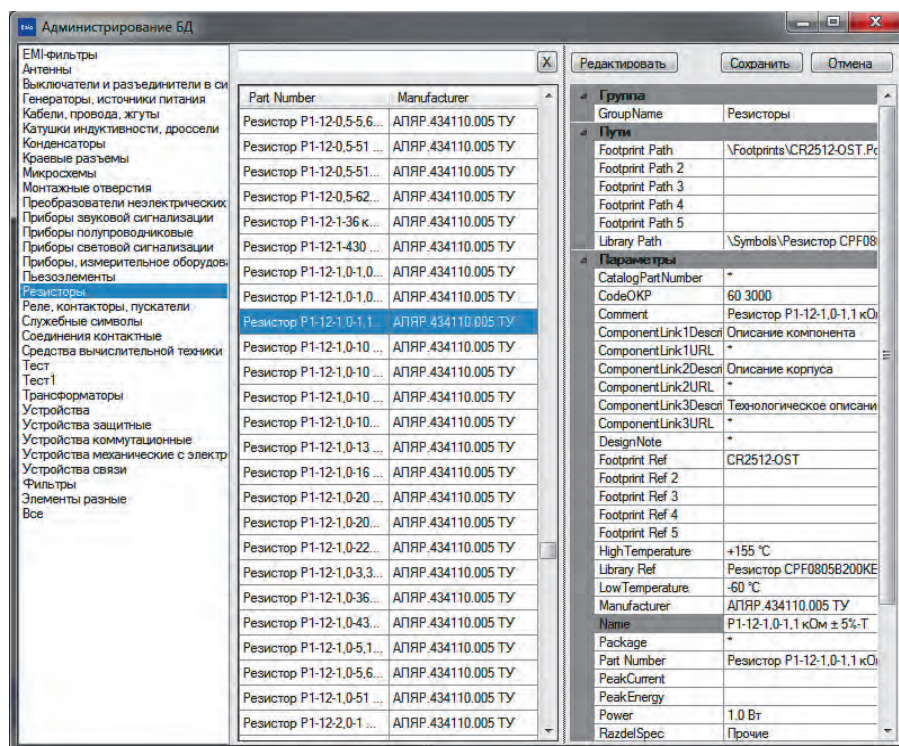


Рис. 2. Панель администрирования базы элементов

позволяет использовать любую ODBC-совместимую БД, а удобный интерфейс администрирования оптимизирует работу администратора библиотеки ЭРИ на предприятии. На рисунке 2 представлена панель администрирования базы элементов.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Проектирование изделия начинается с составления принципиальной электрической схемы. На данном этапе многое зависит от используемой элементной базы. При отсутствии необходимых элементов и создании локальной библиотеки необходимо предусмотреть возможность использования разработанных элементов всеми сотрудниками предприятия, задействованными в производственном процессе. Для этого в схемотехническом редакторе Schematics реализован функционал загрузки из локальной библиотеки в глобальную базу данных элементов, после чего элементы становятся доступны для использования всем сотрудникам предприятия.

Важным параметром является правильность и однотипность отображения всех элементов на схеме. Для этого в системе BoardAssistant разработан процесс проверки всех элементов на соответствие заданным правилам, которые хранятся в серверной части системы. Доступны различные правила для проверки элементов: от контроля длины вывода до проверки содержимого атрибутивной информации. Все выявленные ошибки появляются в стандартном меню Messages.

Следующим инструментом является расширенная возможность компиляции проекта. Штатный инструмент компиляции Altium Designer доступен для редактирования пользователю, поэтому есть риск упущения важных несоответствий проекта заданным на предприятии правилам. Компиляция проекта в BoardAssistant проводится по закреплённым на сервере правилам и позволяет находить ошибки в проекте независимо от настроек штатной компиляции.

По завершении разработки принципиальной схемы необходимо разработать чертежи. Получение PDF-файлов схемы, таблицы проводов и перечня элементов производится автоматиче-

ски, тем самым минимизируя пользовательское участие в процессе формирования данных документов.

РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖЕЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Процесс создания чертежей печатной платы согласно ЕСКД при использовании Altium Designer затруднителен и связан с отсутствием необходимых инструментов оформления. Штатный инструмент Draftsman не позволяет учесть все требования ГОСТ, а при работе с экспортом через DXF/DWG для оформления чертежей в других САД-системах пропадает ассоциативная связь с платой и возникают проблемы, связанные с использованием нейтральных форматов.

Решением проблемы является встроенная панель BoardAssistant собственной разработки (см. рис. 3). Данная панель позволяет оформить чертёж печатной платы и сборочный чертёж узла прямо внутри файла платы. На панели имеется диспетчер видов, позволяющий вставлять, удалять и менять форматы листов. Для размещения видов чертежа имеется соответствующий раздел, в кото-

Glavkon

— We make the complex
simple

BoardAssistant автоматически формируем документацию из проекта Altium по ГОСТ

По вопросам приобретения:
sales@glavkon.com

Техническая поддержка:
support@glavkon.com

Т: +7 (812) 922 28 98
Канал [youtube.com/Glavkon](https://www.youtube.com/Glavkon)

www.glavkon.com



Реклама

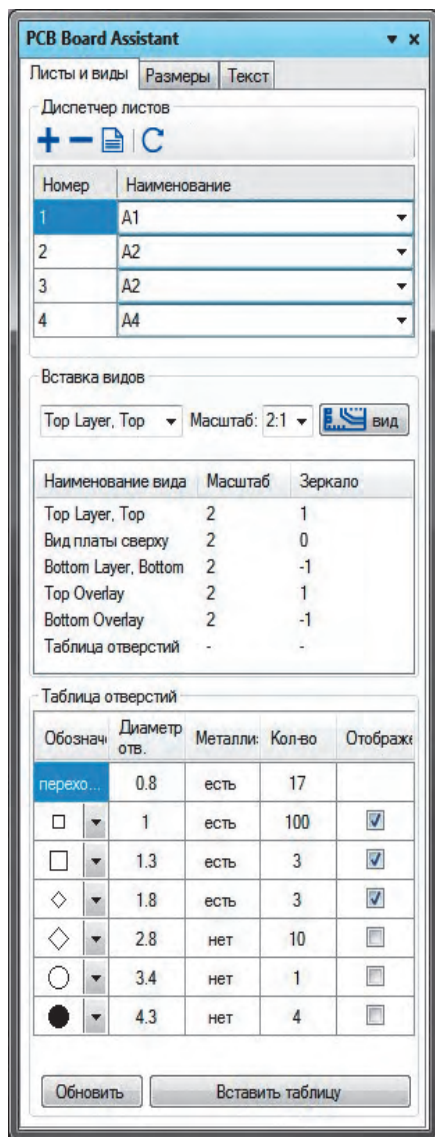


Рис. 3. Панель PCB BoardAssistant

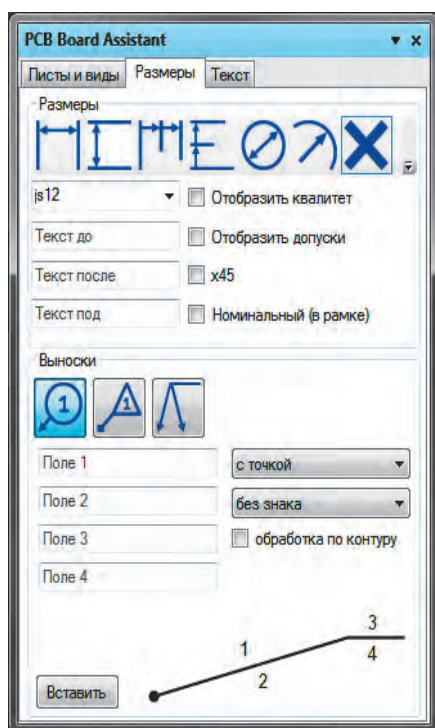


Рис. 4. Вкладка инструментов

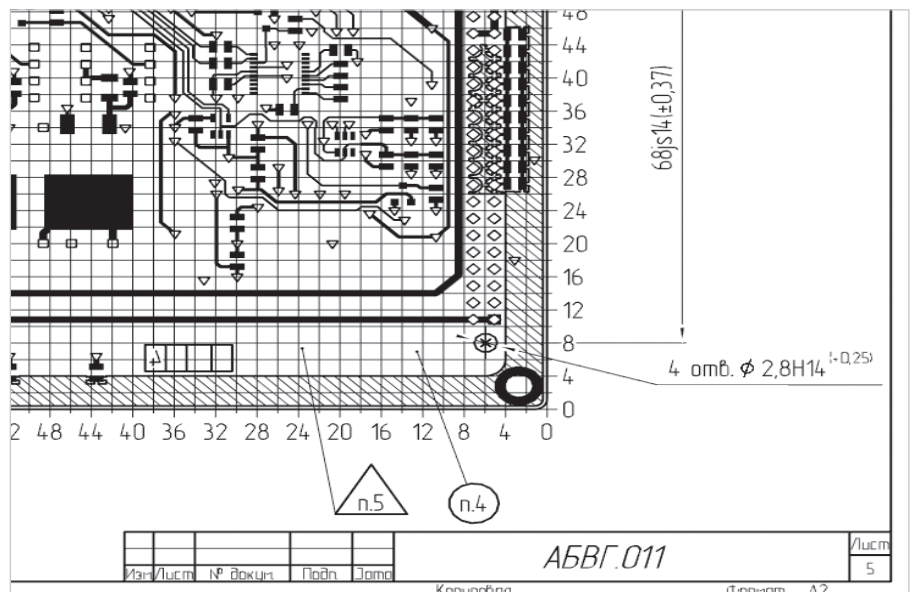


Рис. 5. Фрагмент разработанного чертежа платы

ром выбирается нужный слой и масштаб, после чего производится вставка вида на нужный лист. В этом же разделе есть возможность вставки проекционных видов платы, видов для сборочного чертежа и таблицы отверстий.

Все действия вставки видов фиксируются в диспетчере видов, где указано, какие именно виды вставлены и какого масштаба. Для удобства при двойном нажатии на любой строчке диспетчера листов или видов происходит масштабирование экрана под выбранный объект.

Виды слоёв печатной платы разрабатываются автоматически и соответствуют ГОСТ 2.417-91, который подразумевает наличие координатной сетки, штриховки полигонов и отображение проводников в соответствии с их реальной толщиной.

В разделе таблицы отверстий имеется возможность присвоения условных обозначений различным диаметрам отверстий.

Для простановки всех необходимых размеров имеются удобные инструменты (см. рис. 4) с автоматическим подсчётом квалитетов по ГОСТ и дополнительные поля для добавления к ним текстов.

Также имеются инструменты простановки необходимых выносок, знаков маркировки, клеймения с удобным интерфейсом. Предусмотрены настройки указания стрелок, точек, знаков обработки по контуру, склеивания и пайки. Все инструменты имеют механизмы предварительной отрисовки для удобного размещения на поле чертежа. На рисунке 5 приведён фрагмент разработанного чертежа платы.

Основная надпись на чертежах заполняется через вкладку «Текст», там

же указываются необходимые технические требования, которые будут отображены на чертеже.

Процесс вывода чертежа на печать полностью автоматизирован и производится соответствующей кнопкой, после чего формируется готовый PDF-файл, который будет помещён в проект.

Особенностью данного подхода является то, что чертёж связан напрямую с самой платой, при внесении изменений в которую процесс обновления чертежа максимально упрощается. Кроме того, полученный чертёж всегда можно экспортировать в формат DXF для дальнейшей работы в другой CAD-системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение BoardAssistant в Altium Designer позволяет значительно сократить трудозатраты на проектирование, оптимизировать бизнес-процессы, уменьшить влияние человеческого фактора и, как следствие, получить ощутимую экономическую выгоду. Среднее сокращение трудоёмкости одного проекта оценивается в 55%, что при большом штате сотрудников даёт ощутимый прирост эффективности труда.

Комплексная система BoardAssistant имеет два различных варианта поставки:

1. *Standalone* – для работы локально с автоматизированной разработкой чертежей схем, таблиц соединений, перечней элементов и панелью для разработки чертежей печатных плат.
2. *Enterprise* – вариант работы с серверной частью, с подключённой глобальной элементной базой и глобальными настройками проверки схем и компиляции проектов.

НОВОСТИ МИРА

4-я ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ELM Conf-2018

24 апреля 2018 года прошла ежегодная конференция производителей электроники, посвящённая вопросам повышения эффективности российского производства. В ней приняли участие руководители компаний, руководители производственных подразделений – всего более 80 человек, в основном производители электроники гражданского назначения, работающие в условиях конкурентных рынков.

Участники конференции обсудили, какие организационные практики дают быструю отдачу, какие – долговую, а какие вообще вредны; что стоит за понятиями Индустрии 4.0, Agile, 8D и нужно ли российским компаниям следовать этим модным трендам? Денис Лысенко и Александр Алексеев представили опыт компании «Джейбил» и рассказали, что из практики глобальных корпораций может быть использовано российскими производителями.

Сергей Зорин представил опыт компании «Эвотор» по использованию методики Agile в производстве. Она не работала в управле-



нии регулярными процессами, но прекрасно зарекомендовала себя в управлении изменениями, проектами внедрения улучшений.

Олеся Чиркова сравнила свой опыт внедрения методики 8D в глобальных корпорациях, где она работала раньше, и в компании-стартапе с жёсткими ограничениями по срокам и количеству персонала.

О целях и влиянии ясного целеполагания на эффективность говорили Андрей Коржаков («РКС») и Темур Аминджанов («Старлайн»).

Свежий взгляд на оценку технологического и организационного уровня предприятий представили студенты кафедры РК-9 МГТУ им. Баумана Дарья Покровская и Дми-

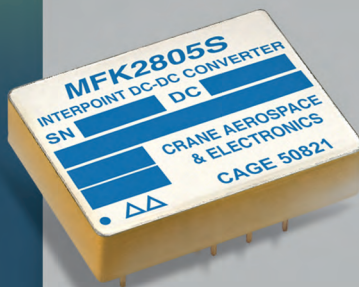
трий Ольшевский. В рамках курсового проекта они разрабатывают методику формализованной оценки контрактных производителей. Методика была апробирована на трёх компаниях – членах АРПЭ. Выступление на конференции позволило собрать замечания и привлечь к проекту внимание других компаний.

Заключительная часть конференции прошла в формате открытой дискуссии о возможностях повышения конкурентоспособности российского производства, а также проблемах избыточности инвестиций и производственных мощностей.

Пресс-служба АРПЭ

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



www.inter-pro.net

interpro@embedded.ru



Реклама

Эффективное управление проектными данными о печатных платах на базе PADS и Teamcenter

Александр Евграфов (ae@nanocad.ru)

Для того чтобы успешно управлять данными о печатных платах, предприятия внедряют различные решения. В статье пойдёт речь об эффективном управлении проектными данными на базе PADS и Teamcenter.

Современным предприятиям необходимо соответствовать жёстким требованиям рынка и при этом завершать проекты в кратчайшие сроки. Компании непрерывно выводят на рынок новые, всё более инновационные продукты, что заставляет конкурентов участвовать в технологической гонке для сохранения своей доли рынка. Для предприятий приборостроительной отрасли это особенно актуально. Здесь одной из составляющих успеха в конкурентной борьбе является эффективное взаимодействие между разработчиками печатных плат. Но возрастающая сложность задач, «ручное» выполнение рабочих процессов и частое внесение изменений увеличивают риски при внедрении печатных плат в новые изделия.

Процесс разработки печатных плат требует своевременного взаимодействия между различными проектными отделами и передачи корректных данных в производство. Разобщённость проектных данных приводит к задержкам на стадии производства или, что ещё хуже, к неправильному функционированию устройства, что неизбежно

но отражается на низкой эффективности продукта.

Существует множество причин проблем, связанных с расходами и задержками. Компанией Aberdeen Group было проведено исследование [1], в котором приняли участие 187 предприятий-разработчиков печатных плат. Каждое предприятие указывало свои основные проблемы управления данными о печатных платах (см. рис. 1).

Исследователи разделили предприятия, участвовавшие в опросе, на две группы: «Лучшие в своём классе» и «Все остальные». Критериев разделения было несколько: достижение планируемой стоимости и качества готового изделия, своевременность выполнения проектов и др. Исследование показало, что лучшие в своём классе чаще конкурентов используют единый источник данных, синхронизацию проекта схемы/платы с составом изделия (Bill of Materials – BOM), доступ к данным на основе роли пользователя и т.д. (см. табл.).

Чтобы успешно управлять данными о платах, предприятия внедряют различные решения: системы PLM,

PDM, собственные разработки. Однако исследование показывает, что предприятия, признанные лучшими в своём классе, на 50% чаще используют системы управления жизненным циклом изделия PLM (Product Life cycle Management).

Teamcenter® – наиболее широко распространённая в мире PLM-система от компании Siemens PLM Software – предоставляет функционал, который позволяет управлять различными типами данных, описывающих изделие на всех стадиях его жизненного цикла.

Teamcenter является универсальной системой, поскольку она обеспечивает работу как с данными CAD/CAM/CAE, так и с данными из систем автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств, таких как PADS, Xpedition, Altium Designer, OrCAD, Allegro.

Продemonстрируем возможности и преимущества управления данными о печатных платах с помощью системы PLM на примере интеграции Teamcenter с PADS [2].

Команды Teamcenter встраиваются непосредственно в графический интерфейс PADS, что позволяет пользователю автоматически выполнять вход в Teamcenter: открывать, сохранять и блокировать проектные данные.

Интеграция Teamcenter и PADS предоставляет разработчикам возможность импортировать и экспортиро-



Рис. 1. Проблемные области управления данными о печатных платах

Управление данными о печатных платах

Показатель	Лучшие в своём классе, %	Все остальные, %
Синхронизация проекта схемы и платы	95	77
Доступ к данным на основе ролей	81	58
Синхронизация проекта схемы и состава изделия	76	57
Единый источник данных проекта платы	65	57
Контроль версий каждого элемента данных о плате	57	40

вать данные библиотеки компонентов, управлять этими данными, а также получать доступ к данным о плате, управлять ими и создавать архивы данных в едином защищённом источнике.

На уровне предприятия интеграция позволяет распределённым группам разработчиков печатных плат управлять проектными данными, вносить изменения на протяжении всего жизненного цикла изделия и, как следствие, уменьшить количество повторных исправлений.

На уровне пользователя интеграция с Teamcenter поддерживает возможность открывать и сохранять «родные» проектные документы PADS, получать доступ к проверенным компонентам, управлять покупными изделиями, взаимодействовать с проектировщиками механической части изделия, создавать файлы визуального представления, передавать данные по изготовлению и сборке подрядчикам, а также создавать составы изделий, содержащие как механические, так и электронные компоненты.

Когда процессы управления проектами ECAD и библиотекой компонентов переходят под контроль Teamcenter, их можно интегрировать в процессы электронного согласования документов и управления изменениями. Благодаря управлению данными о компонентах (см. рис. 2), разработчики печатных плат могут сократить количество дубликатов, избежать использования устаревших или неутверждённых деталей и осуществлять закупки только у проверенных поставщиков.

Интеграция с Teamcenter обеспечивает множеству проектировщиков работу с гарантированно точными проектными данными – благодаря использованию обменных форматов IDF и IDX (EDMD). Эти форматы позволяют передавать информацию о контуре платы, расположении компонентов и зонах запрета размещения объектов. Управляемый Teamcenter формат IDX поддерживает передачу проектных изменений, возможность принятия этих изменений или отказа от них проектировщиками механической и электронной частей изделия, а также внесения замечаний и комментариев в передаваемую информацию.

Инженеры электронной части изделия могут передавать 2,5D/3D-элементы инженерам-механикам для проведения различных типов инженерного анализа: проверки на пересе-

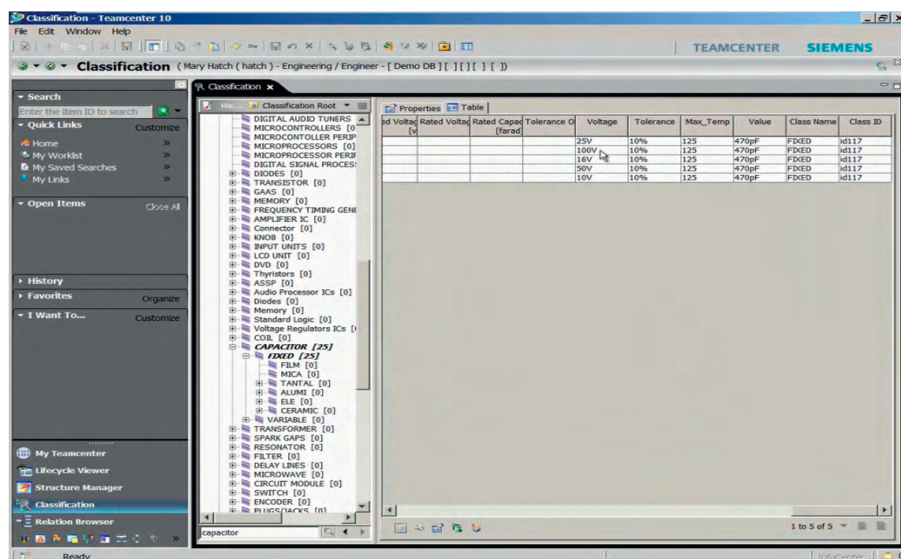


Рис. 2. Управление библиотекой Teamcenter обеспечивает использование проверенных данных

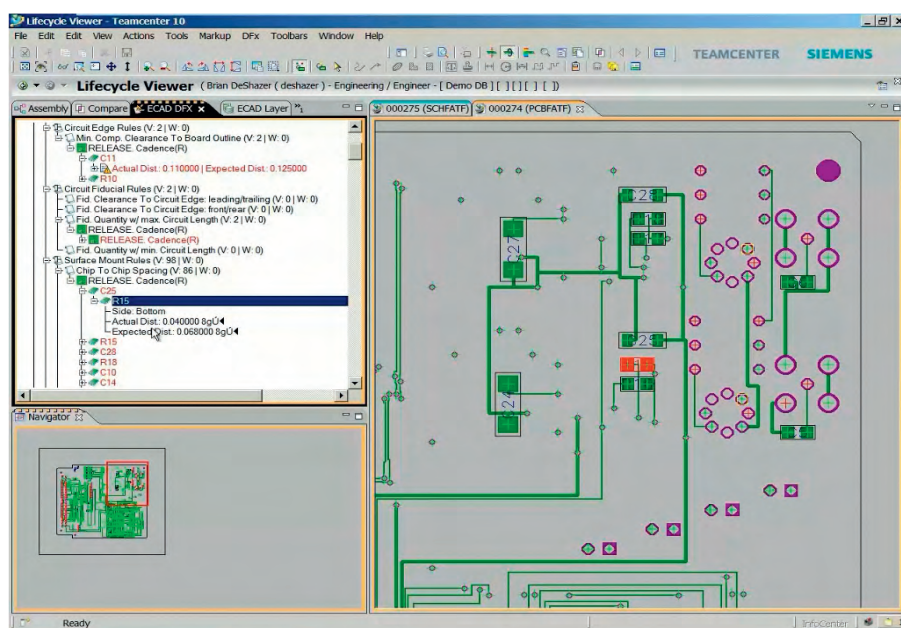


Рис. 3. Проверка платы на собираемость, выполняемая на ранней стадии проектирования

чения, анализа теплопередачи, вибраций, ударных воздействий, воздействия пыли и влаги. Передача данных для проведения подобных междисциплинарных исследований позволяет повысить качество и надёжность изделия.

Для быстрого выявления проблем, которые могут возникнуть на этапе изготовления, пользователи могут внедрить опциональные инструменты проверки изделия на собираемость (см. рис. 3) и мощные средства просмотра данных ECAD. Это позволит снизить процент брака и избежать повторных работ. Инструменты графической навигации в средствах просмотра данных ECAD позволяют проектным отделам и поставщикам просматривать и анализировать в интерактивном режиме проекты схемы и платы, вносить в них замечания.

Таким образом, интеграция программных решений Teamcenter и PADS предоставляет пользователям мощные инструменты управления данными. Аппаратное и программное обеспечение печатных плат можно связать с конкретными требованиями к проекту, обеспечив возможность их отслеживания на протяжении всего жизненного цикла печатной платы.

ЛИТЕРАТУРА

1. PCB data management: how industry leaders are managing their data. Отчёт об исследовании, проведённом компанией Aberdeen Group. www.aberdeen.com/.
2. Teamcenter Integration for Mentor Graphics PADS. Техническая публикация компании Siemens PLM Software. <https://www.plm.automation.siemens.com/ru>.

Работа в JTAG Maps для Altium Designer

Алексей Иванов (alexey@jtag.com)

В статье описывается процесс работы с расширением JTAG Maps для пакета проектирования электронных устройств и плат Altium Designer. Программа JTAG Maps позволяет разработчику схем уже на этапе проектирования оценить возможность доступа периферийного (граничного) сканирования к цепям.

При разработке электронных устройств необходимо обеспечить их правильное функционирование в будущем, исключить проблемы, связанные со сборкой (как правило, это означает разработать плату под автоматический SMD-монтаж), обеспечить надёжность, защищённость от внешних воздействий и многое другое. Должное соблюдение перечисленных требований позволит разработать и создать современный конкурентно-способный продукт. Большинство из этих задач решаются инженерами-проектировщиками в САПР в процессе создания схемы и разводки печатной платы. Такой САПР может являться, например, Altium Designer.

В современных условиях немаловажно разработать, в том числе, и тестопригодное изделие. Опыт показывает, часто уникальные, нужные приборы со сложнейшей функциональностью, востребованные рынком и потребителями, оказываются непригодными к серийному выпуску по причине отсутствия

возможности их структурного тестирования на производстве. Их производству невозможно произвести из-за сложности диагностики дефектов монтажа. Для диагностики таких сложных цифровых плат уже десятки лет существует технология периферийного сканирования. Программная утилита JTAG Maps от JTAG Technologies и Altium позволяет разработчику ещё на этапе составления схемы понять, насколько его будущая плата будет тестируема с помощью периферийного сканирования.

Очевидно, что самым первым фактором, которому необходимо уделить внимание ещё до начала использования JTAG Maps, является выбор центральных компонентов платы (процессоры, контроллеры, ПЛИС) с поддержкой стандарта периферийного сканирования IEEE 1149.1. Именно за счёт этих компонентов впоследствии будет производиться сканирование цепей платы. При этом необходимо обеспечить доступ тестового оборудования к интерфейсам JTAG. После

того как компоненты с поддержкой периферийного сканирования выбраны, наступает черёд разработки схемы изделия. На данном этапе тестопригодность будущего изделия будет контролироваться с помощью JTAG Maps.

Для того чтобы установить это бесплатное расширение, необходимо открыть Altium Designer и зайти в меню DXP. Затем выбрать «Extensions and Updates» и «Purchased but not installed». В открывшемся окне поиска набрать «JTAG Maps». В результатах поиска необходимо выбрать иконку JTAG Maps и нажать кнопку «Install». После завершения установки кнопка запуска программы будет находиться в правом нижнем углу Altium Designer. При нажатии на неё откроется окно программы JTAG Maps (см. рис. 1). Анализ тестопригодности платы начинается с нажатия кнопки «Start», но при первом запуске будет предложено загрузить файл бесплатной лицензии с сайта JTAG Technologies. Лицензия привязывается к MAC-адресу компьютера. В Altium Designer необходимо будет указать путь к скачанному на данном этапе бесплатному лицензионному файлу, зайдя в «Preferences» – «JTAG Maps».

После того как лицензия установлена, можно вновь нажимать кнопку «Start» – откроется окно для ввода исходных

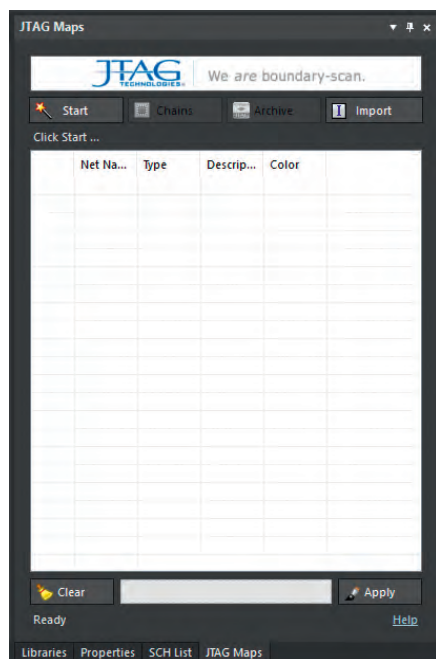


Рис. 1. Интерфейс программы JTAG Maps

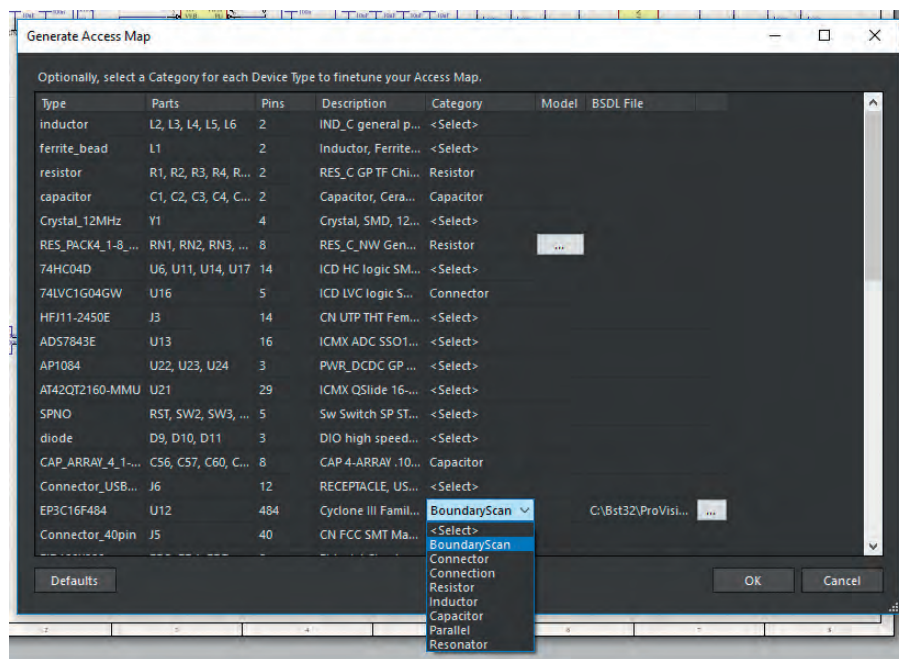


Рис. 2. Присвоение компоненту атрибута «BoundaryScan»

данных для анализа тестопригодности. Сама по себе система Altium не знает, какие компоненты поддерживают периферийное сканирование, какие элементы являются «прозрачными» для тестовых сигналов (например, резисторы), поэтому необходимо ввести соответствующие базовые данные. Как показано на рисунке 2 компоненту можно присвоить следующие атрибуты: «BoundaryScan» (компонент с поддержкой периферийного сканирования), Connector (разъём), Connection (есть возможность прохождения через элемент тестовых сигналов), Resistor, Inductor, Capacitor, Parallel (может рассматриваться как место подключения внешнего тестового оборудования), Resonator. При этом для различных категорий можно выбрать разные электрические модели, например, резистор превратить в резистивную сборку, указав таблицу соединений.

Для определения функциональности компонентов с поддержкой периферийного сканирования в JTAG Maps есть два варианта: приблизительный и точный. Первый вариант предусматривает присвоение компонен-

ту статуса «BoundaryScan», тогда все выводы микросхемы, кроме питания и земли, будут считаться полностью сканируемыми, работающими во время JTAG-теста платы как вход/выход (IO). Но в реальности поведение выводов микросхем при периферийном сканировании не всегда однозначное и зависит от конкретного типа ИМС. Некоторые выводы будут действительно являться входами/выходами, другие – однонаправленными, а какие-то из сигнальных портов вообще не будут иметь в своём составе ячеек периферийного сканирования. Вся эта информация предоставляется производителем микросхемы в виде BSDL-файла (BoundaryScan Description Language). Эти файлы, как правило, скачиваются с сайта производителя микросхемы, либо запрашиваются у него напрямую. При наличии BSDL-файла можно подставить его в окно ввода исходных данных для расчёта (например, для микросхемы U12 на рисунке 2). Очевидно, что при таком подходе тестовый доступ будет показан более точно, нежели если просто сообщить системе, что

компонент имеет поддержку периферийного сканирования.

После определения атрибутов для компонентов платы необходимо их применить, нажав кнопку «ОК» (см. рис. 2), после чего в окне JTAG Maps будут отображены цепи исследуемой платы, подсвеченные разными цветами (см. рис. 3). Помимо красного цвета, обозначающего цепи питания и земли, в списке можно увидеть цепи, обозначенные зелёным цветом, оранжевым, жёлтым и чёрным.

Зелёным цветом показываются цепи «fully scanable», это означает, что все выводы компонентов, подключённых к ним, имеют поддержку периферийного сканирования. Для таких цепей тестирование возможно в наиболее полном объёме. Они могут располагаться, например, между ПЛИС и процессором, между различными ПЛИС и т.д.

Оранжевым цветом отмечаются цепи, в которых содержатся драйверы и/или сенсоры с поддержкой периферийного сканирования, но также имеются выводы компонентов без неё (т.н. «кластеры»). Эти цепи, возмож-

www.jtagtechnologies.ru

JTAG
TECHNOLOGIES®

JTAG ProVision – самая совершенная программа для периферийного сканирования на сегодняшний день

Автоматическая генерация тестов

Русскоязычный интерфейс

Скрипты для создания продвинутых тестов

Десятки тысяч готовых моделей ЭКБ

Последовательности для производства

Проверена работа с отечественной ЭКБ, поддерживающей периферийное сканирование !

Представительство JTAG Technologies в России
Телефон: [812] 602-0915
E-mail: russia@jtag.com

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

Реклама

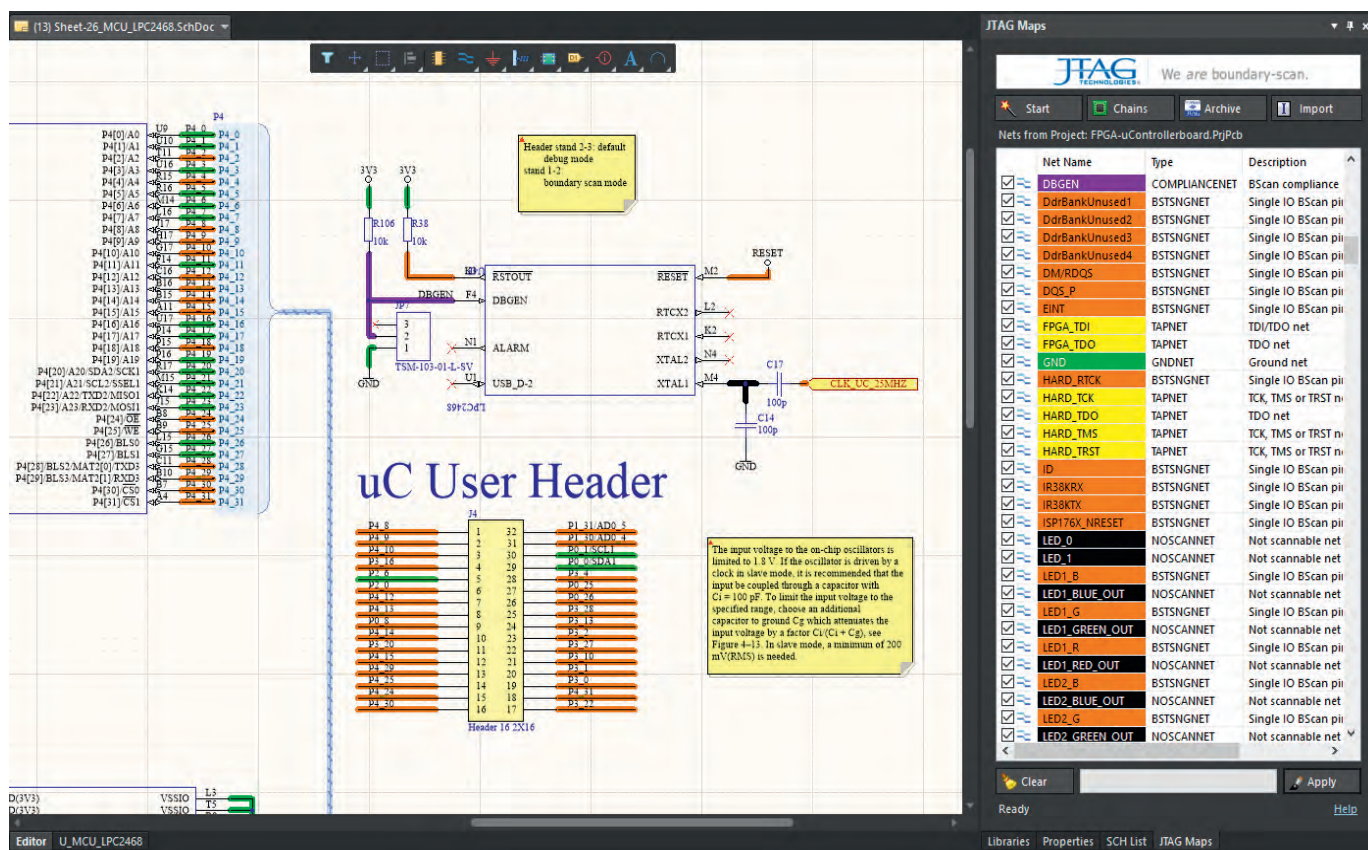


Рис. 3. Внешний вид окна JTAG Maps с разноцветными цепями исследуемой платы

но, удастся протестировать с помощью кластерного теста, но JTAG Maps не имеет моделей функциональности различных кластеров (ОЗУ, ПЗУ, логика и пр.) и точно просчитать тестируемость таких цепей можно только в профессиональных программах создания приложений для периферийного сканирования, таких как JTAG ProVision.

Чёрным цветом показываються нетестируемые цепи, жёлтым – цепи JTAG-интерфейса (TAP-сигналы).

На данном этапе можно выбрать цепи, которые необходимо подсвечить на схеме (или выбрать все) и нажать кнопку «Apply». После этого межсоединения разрабатываемой платы подкрасятся соответствующими цветами (см. рис. 3). Теперь можно наблюдать тестопригодность всей схемы в целом. Если заранее были определены BSDL-файлы для компонентов с поддержкой JTAG, то в ряде случаев на схеме можно увидеть цепи, которые требуют специальных установок для перевода микросхемы в режим периферийного сканирования. Данные установки для некоторых устройств описаны в разделе «COMPLIANCE PATTERNS» BSDL-модели. По умолчанию такие цепи подсвечиваются фиолетовым цветом.

Если обратить внимание на цепи, идущие от компонентов, поддерживающих периферийное сканирование на внешние разъёмы, то можно заметить, что они подсвечены оранжевым цветом, то есть рассматриваются как частично тестируемые. Однако многим инженерам, занимающимся JTAG-тестированием, известно, что такие цепи можно протестировать со 100%-м покрытием, подключив к разъёмам DIOS- или MIOS-модули (модули ввода-вывода). Если предположить, что при производственном JTAG-тестировании разрабатываемого изделия будут использоваться IO-модули, то для разъёмов можно определить атрибут «Parallel». Для этого необходимо вновь нажать кнопку «Start» и внести требуемые изменения, после чего цепи разъёмов, которые были показаны оранжевым цветом, будут «перекрашены» в зелёный.

Для того чтобы посмотреть общую статистику по тестовому покрытию, можно кликнуть правой кнопкой мыши на списке цепей в окне JTAG Maps и выбрать «Show report». В открывшемся окне (см. рис. 4) можно увидеть общее количество полностью сканируемых (BSTNET), частично сканируемых (BSTSNGNET), не тестируемых

(NOSCANNET) цепей, линий JTAG-интерфейса (TAPNET). Также в статистическом отчёте присутствует список всех цепей с их признаками тестируемости.

Среди возможностей программы JTAG Maps следует отметить также функцию экспорта архива проекта для среды разработки тестов JTAG ProVision (кнопка «Export» на главном окне JTAG Maps). Этот архив может впоследствии быть использован в качестве базы для создания проекта тестирования платы. В JTAG ProVision будет добавлена дополнительная информация о моделях кластеров (ОЗУ, флэш, логика, интерфейсы), позволяющая создавать расширенный набор тестов.

В JTAG ProVision существует возможность импорта различных данных (кнопка «Import»). Это может быть информация о найденных в процессе тестирования платы дефектных цепях или полный отчёт о тестовом покрытии.

Использование программы JTAG Maps позволяет оценить доступность сигналов периферийного сканирования к цепям разрабатываемого устройства. Этот инструмент не укажет, какие из тестов выполнимы для кластеров – устройств, окружающих компоненты с поддержкой JTAG. Как же понять, возможно ли протестировать, например,

микросхему оперативной памяти, подключённую к процессору, имеющему периферийное сканирование? Ответ прост: необходимо посмотреть все ли управляющие сигналы ОЗУ имеют хотя

бы оранжевый цвет. Также необходимо убедиться в наличии доступа хотя бы к части линий данных и адреса. Аналогично можно провести анализ доступности и к другим типам кластеров.

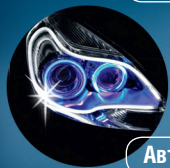
Программа JTAG Maps является отличным инструментом, помогающим обеспечить надлежащую тестируемость сложных цифровых устройств на ранних стадиях разработки.


MENTOR®

Светопроводник к Вашему успеху



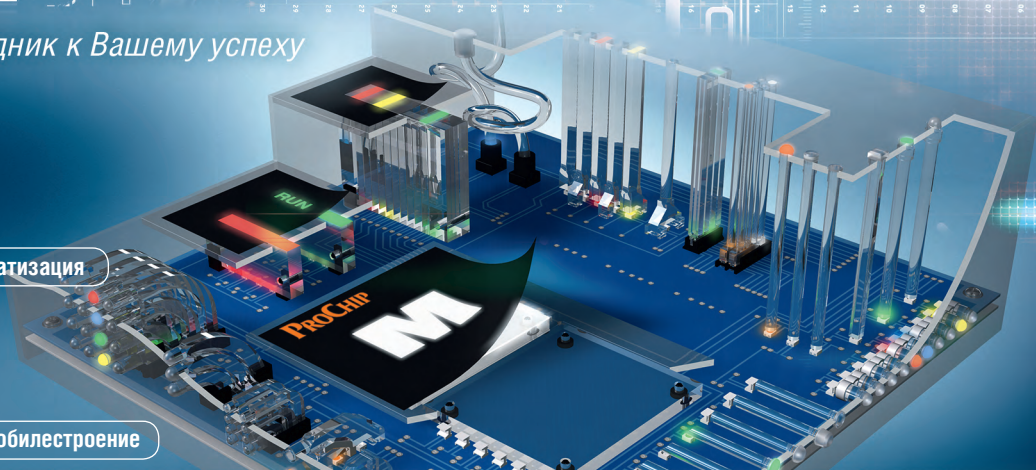
Автоматизация



Автомобилестроение



Медицина



Световоды для SMD- и THT-светодиодов

Особенности:

- Световоды со степенью защиты IP68
- Диапазон температур: -40...+85°C
- Возможно изготовление заказных изделий

ProCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU



Реклама

ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ПАНОРАМА



Диапазон частот от **0,3/10** МГц до **13,5/26,5** ГГц

Широкий динамический диапазон – до **145** дБ

Точные
измерения
по доступной
цене!



Широкий динамический диапазон и максимальная выходная мощность – вот, что делает **векторный анализатор цепей серии «Панорама»** превосходным устройством для измерения комплексных S-параметров линейных одно- и двухпортовых устройств, различных характеристик нелинейных цепей. Анализатор цепей «Панорама» демонстрирует беспрецедентное соотношение цены и технических характеристик, благодаря высокой скорости работы, компактности, а также набору различных опций и возможностей.

Получите скидку прямо
сейчас по промокоду
«Современная электроника».
Не упустите свой шанс!

АО «НПФ «Микран»
пр-т Кирова, 51д, г. Томск, Россия, 634041
+7 3822 90-00-29 | +7 3822 41-34-03 | +7 3822 42-36-15 факс
mic@micran.ru
www.micran.ru





ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ **УЖЕ ОПЛАЧЕНА** РЕКЛАМОДАТЕЛЯМИ

Бесплатная подписка для специалистов



3 идентичные версии: печатная, электронная, мобильная



Мобильное приложение



App Store Google Play

**СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

Мобильное приложение



App Store Google Play

WWW.CTA.RU

WWW.SOEL.RU

Подписка оформляется на сайтах журналов

Генератор SMA100B: лидерство характеристик без компромиссов

- Диапазон частот от 8 кГц до 3/6/12,75/20 ГГц
- Погрешность установки частоты от $\pm 3 \cdot 10^{-8}$
- Диапазон установки уровня от -145 до +38 дБмВт
- Погрешность установки уровня от $\pm 0,5$ дБ
- Низкий уровень гармоник: < -60 дБн (при уровне 18 дБмВт)
- Негармонические составляющие до -100 дБн при 10 дБмВт
- Ультранизкий фазовый шум < -152 дБн (тип.) на 1 ГГц@10 кГц



www.rohde-schwarz.com/ru/product/sma100b