

Источники питания и электронные нагрузки

От лидирующего европейского производителя из Германии

- ✓ Программируемые
- ✓ Автодиапазон
- ✓ Генератор функций
- ✓ Рекуперация энергии до 95%
- ✓ Русскоязычная сенсорная панель
- ✓ ПО на русском языке



Напряжение до

2 000 вольт*

Ток до

1 000 ампер*

Мощность до

30 000 ватт*

* — максимальное значение для одного блока.
Возможно создание систем до 2 МВт.



Elektro Automatik



НИФРИТ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ДИСТРИБЬЮТОР

www.elektroautomatik-rus.ru

+7 (499) 995-08-52

+7 (499) 645-51-92

124460 г. Москва, г. Зеленоград,
2-ой Западный проезд д.1, стр.1



ОНЛАЙН КАТАЛОГ

УСПЕХ ПРОЕКТОВ БУДУЩЕГО В ПЕРСПЕКТИВНЫХ инструментах настоящего



NI AWR Design Environment - это единая платформа для разработки беспроводных устройств и систем связи нового поколения. Удобный и функциональный интерфейс, глубокая интеграция мощных инструментов проектирования и высокий уровень автоматизации обеспечивают успешность Ваших разработок.

Подробнее на: awr.com/ru

MARKET**4 Russian Market News****MODERN TECHNOLOGIES****8 Design and Manufacture of Chip Assembly Based on Multilayer Ceramics***Andrey Scherbina***ELEMENTS AND COMPONENTS****12 Features of the Architecture and Application of Microwave Inputs for Millimeter-Wave Connectors***Kiva Jurinskiy***18 Selecting and Using Ferrite Beads for Ringing Control in Switching Converters***Christopher Richardson, Ranjith Bramanpalli***28 Radio Module HC-12***Oleg Valpa***32 LED-based Lighting Solutions MENTOR GmbH & Co. Prazisions-Bauteile KG: from Standard Components to Lighting Systems***Olga Romanovskaya***DEVICES AND SYSTEMS****36 Transmitter Testing: Five Fundamental Issues***Oleg Kalinin***ENGINEERING SOLUTIONS****44 Pyrometer on the FPGA. Part 1***Pavel Redkin***52 Inhaler Control Unit for Physiotherapy***Sergey Shishkin***56 Tachometer for Quadrocopter***Andrey Shabronov***DESIGN AND SIMULATION****60 5G Power Amplifier Design and Modeling for mmWave GaN Devices***Valeria Brunel, Eric Leclerc, David Vye***64 New Features in the System of Functional Verification and Modeling of HDL Projects Delta Design Simtera***Nikita Malishev***MAN AND LAW****68 Patent-Analytical Support for the Innovative Development of Enterprises and Their Diversification***Maksim Shilak***PAGES OF HISTORY****74 At the Source of Quantum Electronics. 180th Birthday of A.G. Stoletov***Vladimir Bartenev***Журнал «Современная электроника»**

Издаётся с 2004 года

Главный редактор А.А. Смирнов**Редакционная коллегия** А.Е. Балакирев, В.К. Жданкин, С.А. Сорокин, Р.Х. Хакимов**Литературный редактор/корректор** О.И. Семёнова**Вёрстка** А.М. Бабийчук**Обложка** Д.В. Юсим**Распространение** С.Ю. Чепурова (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:**

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, пом/ком/эт I/67/тех

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, 2019

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

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.

Индексы на полугодие – 46459, на год – 36280.

Подписное агентство «Урал-Пресс»:

Тел.: (499) 700-0507 • http://www.ural-press.ru

СОДЕРЖАНИЕ 8/2019

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

EREMEX (Delta Design)	67
Fastwel	27
ICAPE	7, 26
IEE	59
JTAG	11
Keysight Technologies	37
Litemax	6
MENTOR	33
NI AWR	1
Raystar	4
RFCore	58
Spectrum	43
TDK-Lambda	51
XP Power	17, 35
АДВАНТЕХ	7, 16
ВЗПП-С	5, 31
ВКО-Интеллект	69
День Радио ЭРЕМЕКС	80
ДОЛОМАНТ	25
МОРИОН	6
НИФРИТ	2-я стр. обл., 7
Роде и Шварц	4-я стр. обл.
СИММЕТРОН	19
ТЕСТПРИБОР	9
ЭРКОН	5

РЫНОК

4 Новости российского рынка

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

8 Разработка и изготовление микросборок на многослойной керамике

Андрей Щербина



ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

12 Особенности конструкции и применения СВЧ-вводов для соединителей миллиметрового диапазона

Кива Джуринский

18 Выбор и использование ферритовых бусин для подавления звона в импульсных преобразователях

Кристофер Ричардсон, Ранжит Браманпалли

28 Модуль радиосвязи HC-12

Олег Вальпа

32 Световоды MENTOR GmbH & Co. Prazisions-Bauteile KG: от стандартных компонентов до систем освещения

Ольга Романовская

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

36 Тестирование передатчиков: пять фундаментальных проблем

Олег Калинин

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

44 Пирометр на ПЛИС. Часть 1

Павел Редькин

52 Блок управления ингаляторами для физиотерапевтического кабинета

Сергей Шишкин

56 Тахометр для квадрокоптера

Андрей Шабронов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

60 Разработка моделей для проектирования усилителей мощности в NI AWR Design Environment

Валерия Брюнель, Эрик Леклерк, Дэвид Вай

64 Новые возможности в системе функциональной верификации и моделирования HDL-проектов Delta Design Simtera

Никита Малышев



ЧЕЛОВЕК И ЗАКОН

68 Патентно-аналитическое обеспечение инновационного развития предприятий и проведения их диверсификации

Максим Шилак

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

74 У истоков квантовой электроники. К 180-летию со дня рождения А.Г. Столетова

Владимир Бартенев

Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

Цветные TFT-модули с широким диапазоном рабочих температур от Raystar Optronics

Компания Raystar Optronics представляет обширный ряд цветных TFT-модулей для работы в широком диапазоне температур. В настоящее время предлагаются дисплейные модули с размерами диагонали 3,5", 3,9", 4,3", 5", 5,7", 7", 8", 9", 10,2", 12,1" и 12,3".



Для обеспечения лучшего качества функционирования в ряде сложных применений предлагаются модели с повышенной яркостью свечения экрана от 600 до 1000 кд/м², что позволяет считывать информацию при ярком прямом свете.

Для упрощения ввода данных и взаимодействия с пользователем предлагаются дисплеи с установленными резистивными сенсорными экранами, как правило, четырёхпроводными. Связь осуществляется посредством параллельных интерфейсов (RGB, MCU), а также последовательного

TFT-модули с широким диапазоном рабочих температур

Размер, дюйм	Модель	Разрешение	Яркость, кд/м ²	Угол обзора дисплея	Интерфейс	Микросхема контроллера	Диапазон рабочих температур, °C
3,5	RFJ350N-AVW-DNN	240×320	500	Широкий	MCU	ST7511	-30...+80
3,5	RFC350T-ANW-DNN	320×240	420	12 часов	RGB	—	-30...+80
3,5	RFJ350W-AWH-DNN	240×320	1000	IPS	MCU	HX8347-A	-30...+80
3,9	RFS-390B-AQH-DNN	480×128	1000	6 часов	RGB	—	-30...+80
4,3	RFE430S-AVW-DNN	480×272	600	Стекло VA	RGB	—	-30...+80
4,3	RFET-AVW-DNN	480×272	500	Стекло VA	RGB	—	-30...+80
5	RFE500E-AWW-DNN	800×480	500	IPS	RGB	HX8249-A+ HX8678-C	-30...+80
5	RFE500E-AWH-DNN	800×480	1000	IPS	RGB	HX8249-A+ HX8678-C	-30...+80
5,7	RFC570R-AQW-DNN	320×240	500	12 часов	RGB	—	-30...+80
5,7	RFG570R-AQW-DNN	640×480	450	6 часов	RGB	—	-30...+85
7	RFF700A4-AWH-DNN	800×480	1000	IPS	RGB	TBDNT51632T +NT52601TT	-30...+80
7	RFF700R-AIW-DNN	800×480	400	12 часов	RGB	—	-30...+85
8	RFF80B-AIW-DNN	800×480	450	12 часов	RGB	—	-30...+85
8	RFF80AB-AIW-DNS	800×480	320	12 часов	RGB	—	-30...+85
9	RFH900B-AWW-LNN	1024×600	500	IPS	LVDS	—	-30...+85
10,2	RFF1020A-AIW-DNN	800×480	350	12 часов	RGB	—	-30...+85
10,2	RFF1020AA-AIW-DNS	800×480	250	12 часов	RGB	—	-30...+85
12,1	RFM1210E-AWW-LNN	1024×768	600	IPS	LVDS	—	-30...+85
12,3	RFY1230B-AWH-LNN	1920×720	800	IPS	LVDS	—	-30...+85
12,3	RFY1230A-6WH-LNG	1920×720	800	IPS	LVDS	—	-30...+85

интерфейса LVDS на основе дифференциальных пар.

Представленные дисплейные модули способны работать в диапазоне температур от -30 до +80°C (или +85°C), при этом диапазон температур хранения составляет -40...+80°C (или +90°C).

Дисплеи предназначены для применения в промышленном оборудовании и наружных

установках. Некоторые модели, созданные с применением технологии IPS или на основе панели VA (Vertical Alignment), характеризуются широкими углами обзора 80°/80°/80°/80° в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Основные характеристики анонсируемых TFT-модулей приведены в таблице.

<http://prosoft.ru>

Тел.: (495) 234-06-36

5" цветные TFT RFF500F с широким углом обзора и повышенной яркостью

Компания Raystar Optronics представляет 5-дюймовые цветные активно-матричные дисплейные модули с горизонтальной ориентацией (формат экрана 16:9) изображения ряда **RFF500F** с повышенной яркостью и широким диапазоном рабочих температур.

Дисплейные модули характеризуются разрешением 800×480 пикселей. Функции управления TFT-модулями осуществляет микросхема драйвера ST262. Цифровой параллельный интерфейс позволяет подключать дисплей к устройству с цифровым выходом. Цифровой RGB-сигнал передаётся 24 битами (8 бит на цвет). Типич-

ное значение контрастности составляет 1000:1.

Модель **RFF500F-AYH-DNN** характеризуется яркостью 1000 кд/м². В том случае, когда не требуется повышенная яркость, можно выбрать модель **RFF500F-AYW-DNN** с яркостью свечения экрана 500 кд/м². Для упрощения ввода данных и взаимодействия с пользователем предлагаются модели дисплеев с установленными резистивными или проекционно-ёмкостными сенсорными экранами.

Дисплеи воспроизводят цвета при углах обзора 160° в горизонтальной и вертикальной плоскостях благодаря технологии планарной адресации IPS (In Plane Switching). Дисплейные модули способны функционировать в диапазоне температур от -20



до +70°C, диапазон температур хранения: -30...+80°C.

<http://prosoft.ru>

Тел.: (495) 234-06-36

НОВЫЕ СВЧ-РЕЗИСТОРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АО «НПО «ЭРКОН» представляет новые СВЧ-резисторы и оконечные нагрузки:

- типа **P1-160** для поверхностного монтажа:
 - типоразмеры 0402, 0603, 0805, 1206;
 - диапазон номинальных сопротивлений от 10 до 1000 Ом (ряд E192; E24);
 - диапазон рабочих частот до 40 ГГц;
 - КСВН в рабочей полосе частот не более 1,25.
- типа **P1-158** для поверхностного монтажа:
 - номинальная мощность рассеяния 8 Вт в корпусе типоразмера 1206;
 - номинальное сопротивление 50 и 100 Ом;
 - диапазон рабочих частот до 6 ГГц;
 - КСВН в рабочей полосе частот не более 1,25.

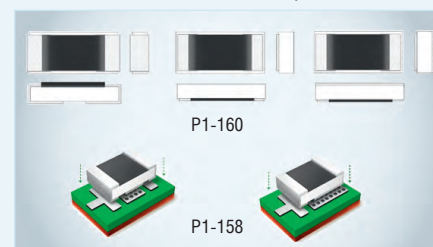
С момента основания предприятие является лидером в разработке, производстве и реализации электрорадиоизделий про-

мышленного и специального назначения. АО «НПО «ЭРКОН» предлагает:

- резисторы постоянные непроволочные: прецизионные, мощные, высокоомные, высоковольтные, низкоомные, СВЧ и высокочастотные, электропиротехнические, общего применения;
- резисторы фольговые;
- наборы резисторов;
- делители напряжения;
- СВЧ-поглотители и аттенуаторы;
- чип-индуктивности.

Система менеджмента качества предприятия сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и дополнительным требованиям ГОСТ РВ 15.002-2012, ЭС РД 009-2014 в Системе сертификации «Военный регистр» и «Электронсерт» (срок действия до 2020 года), что предоставляет право на разработку новых видов и производство серийной продукции в интересах Министерства обороны РФ.

Являясь серийным производителем резисторов и индуктивностей, используемых для производства электроники (источников питания, инверторов, конверторов, усилителей, телекоммуникационной аппаратуры и другой РЭА), АО «НПО «ЭРКОН» обладает большим потенциалом импортозамещения.



АО «НПО «ЭРКОН» индивидуально подходит к каждому потребителю, обсуждая цены и сроки поставки в зависимости от объёма заказа и конкретной номенклатуры.

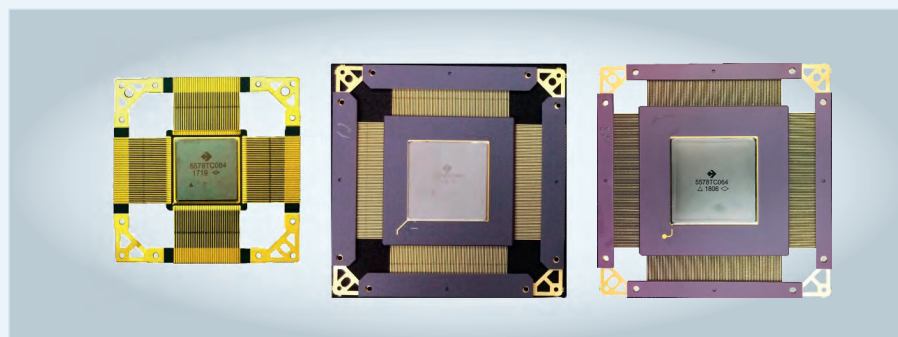
Более подробная информация о новинках и серийно выпускаемой продукции представлена на сайте www.erkon-nn.ru.

НОВЫЕ РОССИЙСКИЕ ПЛИС

АО «ВЗПП-С» (г. Воронеж) является одним из крупнейших поставщиков элементной базы для предприятий-изготовителей радиоэлектронной продукции, средств связи и важнейшей аппаратуры специального назначения.

В 2019 г. предприятие освоило производство (к уже выпускающимся ПЛИС 5576XC1T, 5576XC4T, 5576XC6T, 5576XC7T, 5578XC024, 5578XC034) программируемых логических интегральных схем 5578TC084 и 5578TC094:

- ПЛИС **5578TC084** (АЕНВ.431260.422ТУ) предназначена для замены зарубежных микросхем EP3C16 фирмы Altera. Выпускается в 144-выводном металлокерамическом планарном корпусе МК 4248.144–1.
- ПЛИС **5578TC094** (АЕНВ.431260.423ТУ) предназначена для замены зарубежных микросхем EP3C25 фирмы Altera. Выпускается в 304-выводном металлокерамическом планарном корпусе МК 4251.304–2.



Основные характеристики новых ПЛИС приведены в таблице.

К 2020 году предприятие планирует выпуск новой ПЛИС **5578TC064** (АЕНВ.431260.402ТУ), предназначенной для замены зарубежных микросхем EP3C55 фирмы Altera:

- программируемый режим циклической перезаписи конфигурационной памяти;
- встроенная система конфигурирования, обеспечивающая многократное перепрограммирование;

- программируемый режим верификации конфигурационной памяти без выхода из рабочего состояния;
- программируемые блоки удержания выводов пользователя в последнем состоянии;
- имеется интерфейс передачи данных LVDS;
- для конфигурирования ПЛИС рекомендуется использовать однократно программируемую микросхему ПЗУ 5578PT035 ёмкостью 16 Мбит производства АО «КТЦ «ЭЛЕКТРОНИКА»;
- для проектирования используется САПР Quartus II и дополнительное ПО разработки и производства АО «КТЦ ЭЛЕКТРОНИКА»;
- выпускается в 352-выводном корпусе МК 4254.352–1.

Для всей номенклатуры ПЛИС, выпускаемых АО «ВЗПП-С», имеются комплекты необходимых для разработчика инструментов.

www.vzpp-s.ru

Тел.: +7 (473) 227-9527

Основные характеристики ПЛИС 5578TC084, 5578TC094 и 5578TC064

Характеристики	ПЛИС 5578TC084	ПЛИС 5578TC094	ПЛИС 5578TC064
Ёмкость системных вентиляей	800 000	1 200 000	3 000 000
Количество эквивалентных логических элементов	15 408	24 624	55 856
Объём встроенной памяти, Кбит	504	594	2 340
Количество умножителей 18×18, шт.	56	66	156
Количество выводов, программируемых пользователем	84	195	279
Количество блоков ФАПЧ	4		
Напряжение питания ядра, В	1,2 ±0,05		
Напряжение питания периферии, В	2,5 ±5%		

МИНИАТЮРНЫЙ ВЧ МАЛОШУМЯЩИЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ ТЕРМОСТАТИРОВАННЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР ГК269М-ТС

АО «МОРИОН» (Санкт-Петербург), ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства кварцевых приборов стабилизации и селекции частоты, представляет новый миниатюрный высокочастотный ма-



Уровень фазовых шумов, дБ/Гц для 100 МГц, SIN, менее				
при отстройке	1	2	3 (только SIN)	4 (только SIN)
10 Гц	-95	-98	-100	-102
100 Гц	-127	-130	-133	-135
1000 Гц	-157	-160	-162	-163
10 000 Гц	-172	-172	-177	-175
100 000 Гц	-174	-176	-180	-178

лошумящий прецизионный термостатированный кварцевый генератор **ГК269М-ТС**.

Генератор имеет стандартную частоту 100 МГц и характеризуется:

- температурной нестабильностью до $\pm 5 \times 10^{-8}$;
- широким диапазоном рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$;
- быстрым выходом на рабочий режим < 2 мин;
- напряжением питания 5 В.

Прибор выполнен в миниатюрном корпусе с размерами $21 \times 13 \times 9,5$ мм (DIL14).

Уровень фазовых шумов при различной отстройке представлен в таблице.

Генератор выпускается в вариантах с КМОП и SIN выходным сигналом.

ГК269М-ТС применяется в измерительной и радиолокационной технике, цифровом телевидении, системах связи и синтезаторах частоты.

Дополнительную информацию об этих и других приборах можно получить у специалистов АО «МОРИОН».

www.morion.com.ru

Тел.: (812) 350-7572

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Решения для интеллектуальной транспортной системы

Сегодня во всём мире наблюдается тенденция развития инфраструктуры общественного транспорта как наиболее подходящего варианта для совершения регулярных поездок.

Заглядывая в будущее, где интеллектуальные транспортные платформы станут распространёнными, компания Litemax сфокусировалась на предоставлении решений, связанных с информационными системами для пассажиров, например, автоматическая оплата за проезд, усовершенствованиями перевозок, диспетчерских для видеонаблюдения и применениях для подвижного состава. Для реализации этих задач компания Litemax представляет новый ряд модулируемых промышленных компьютеров и моноблочный панельный компьютер.

Предлагая пассажирам наиболее эффективный вариант маршрута и различные интеллектуальные сервисы, машинист может организовывать и обновлять информацию в режиме реального времени через Интернет.

Для систем управления на железнодорожном транспорте предлагаются следующие системы.

IPPS-1702-KBL5-WR – 17" безвентиляторный промышленный компьютер со степенью защиты IP65 на основе процессора Intel® 7 Core™ i:

- 17" дисплей с форматом изображения XGA и яркостью 350 кд/м^2 , совместимый с компьютерами серии Box PC;
- проекционно-емкостной или 5-проводной резистивный сенсорный экран;
- блокируемые цилиндрические соединители M12;
- автоматическая регулировка яркости для различных внешних условий.

IPPS-1768-SKL2-WP – 17" безвентиляторный промышленный компьютер с сенсорным экраном со степенью защиты IP65 (по передней панели), совместимый с компьютерами серии Box PC:

- процессор Intel 6-го поколения Core™ i3/i5/i7;
- яркость 1600 кд/м^2 ;
- разрешение 1280×1024 пикселей;
- проекционно-емкостной сенсорный экран с 10 точками касания.

ITRP-2845-SKL2-WG00 – 28" безвентиляторный панельный промышленный компьютер со степенью защиты IP54, сертифицированный по стандарту EN50155:

- процессор Intel 6-го поколения i3/i5/i7;
- чипсет Intel® Skylake-U встроенный;
- память 1×260 -контактная DDR4 2133 МГц SDRAM; максимально до 16 Гбайт;
- системный ввод/вывод: $1 \times \text{COM}$, $1 \times \text{HDMI}$, $2 \times \text{USB 2.0}$, $2 \times \text{LAN}$, соединитель тип M12;
- Ethernet: $2 \times \text{Gigabit Ethernet}$ ($1 \times \text{Intel} \text{®} \text{I}210$, $1 \times \text{Intel} \text{®} \text{I}219\text{LM}$);
- расширительный слот: $1 \times \text{Mini-PCIe}$ (полноразмерный с SIM), $1 \times \text{Mini-PCIe}$ (полноразмерный, совместный с mSATA);



- поддержка ОС: Win7, Win8.1, Win10, Linux;
- яркость 1000 кд/м^2 ;
- контрастность 1000:1;
- разрешение 1920×357 пикселей;
- работа от сетей постоянного напряжения $24/36/47/72/96/110 \text{ В}$;
- диапазон рабочих температур от -25 до $+55^\circ\text{C}$;
- температура хранения от -40 до $+80^\circ\text{C}$;
- стойкость к ударным и вибрационным воздействиям;
- габаритные размеры: $815 \times 68,6 \times 78,1$ мм;
- вес: 6,94 кг.

<http://prosoft.ru>

Тел.: (495) 234-06-36

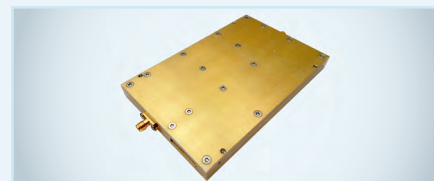
СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ 100 МГц – 20 ГГц

ООО «АДВАНТЕХ» (Advantex), российский разработчик и производитель СВЧ-узлов и систем, представляет целочисленный синтезатор частот **LNO-66H-RF**.

Синтезатор отличается широким рабочим диапазоном выходных частот, высоким быстродействием, низким уровнем негармонических составляющих и невысокой стоимостью относительно зарубежных аналогов. Синхронизация осуществляется только от внешнего опорного сигнала.

Основные характеристики LNO-66H-RF:

- диапазон частот от 100 МГц до 20 ГГц;
- мин. шаг перестройки 100 МГц;
- уровень фазового шума (при опорном сигнале 100 МГц): -104 дБн/Гц при отстройке 10 кГц @ 10 ГГц,
- время перестройки <10 мкс (во всех случаях);
- выходная мощность (калиброванная) от -14 до $+10$ дБм с шагом 0,5 дБ;
- частота внешнего опорного сигнала 100, 200, 400 и 800 МГц;



- диапазон рабочих температур $-40...+60^{\circ}\text{C}$;
- интерфейс управления SPI;
- габаритные размеры (В×Ш×Г) – $13 \times 87,5 \times 135,0$ мм.

www.advantex.ru
Тел.: (495) 721-4774

ДВУНАПРАВЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СЕРИИ EA-PSB 10000 на 30 кВт

Новый источник питания **EA-PSB 10000** на 30 кВт от EA Elektro-Automatik генерирует на 100% больше мощности, чем приборы предыдущей серии. При этом в стойке он занимает высоту 4U при увеличении объема всего на треть. В сопряженных параллельных режимах это компактное изделие способно производить общую мощность до 1,92 мВт. Производители систем хранения энергии смогут получить от этого значительную пользу. На 5 дюймовом сенсорном дисплее можно напрямую производить установки устройства.

Двухнаправленный источник питания предлагает рабочий КПД до 96% в обоих режимах: источника и нагрузки с рекуперацией. Устройство способно без задержки переключаться из источника в поглотитель энергии. Например, заряд и разряд накопителя энергии с различными диапазонами можно выполнить одним устрой-

ством. Энергия во время фазы рекуперации тестирования мотора может быть принята самим EA-PSB 10000 и отдана обратно в электросеть.

КПД устройств EA-PSB 10000 на 30 кВт ведёт к явному сокращению генерации тепла. Тем не менее, и эти высокоэффективные устройства показывают потери производительности при максимальной нагрузке. По этой причине EA предлагает водяное охлаждение как опцию для своей новой продукции, где до 95% потерь мощности рассеиваются через жидкость. Пользователи извлекут пользу не только от уменьшения тепла, но и от защищённого и надёжного дизайна новых источников питания. Таким образом, возможна бесперебойная эксплуатация в неблагоприятных условиях окружающей среды (повышенная влажность и пыль). Новое, полностью цифровое управление позволяет удалённо задавать специальные ПИД-параметры, которые отличаются от заводских настроек.



Чтобы в полной мере использовать исключительную производительность EA-PSB 10000 на 30 кВт для множества испытываемых объектов, EA предлагает пользователю интуитивно понятное управляющее программное обеспечение. С помощью EA Power Control можно дистанционно контролировать до 20 устройств, управлять дополнительными функциями и использовать практичный сбор данных. Ещё одной новой функцией является программа для имитации батареи. Таким образом, заказчик может использовать EA-PSB 10000 для тестирования своего оборудования практически в реальных условиях.

www.niphrit.ru
Тел.: (499) 995-0852, (499) 645-5192

РЫНОК

ICAPE Россия ПРОДОЛЖАЕТ РАСТИ

Группа ICAPE производит печатные платы и заказные технические детали в Китае с 1999 года. 1700 клиентов в 70 странах уже оценили качество услуг и продукции компании. Каждый месяц ICAPE Group доставляет 22 млн печатных плат и 5 млн технических деталей. В 2018 оборот ICAPE Group составил \$140 млн. В 2019 году он вырастет на 20%. В техническом офисе в Китае работает 210 высококлассных инженеров. В мае 2019 года российское отделение ICAPE переехало в новый офис, при этом команда пополнилась двумя новыми менеджерами по продажам.

«Финансовые результаты показывают стабильный рост прибыли ICAPE Россия. Мы планируем заработать \$8,3 млн в 2019! – говорит Йоанн Винсент, генеральный директор ICAPE Россия. – Чтобы достичь этой це-

ли, мы полагаемся на расширенную команду продаж и на оптимизацию расходов на логистику, что играет большую роль в России».

В течение 3 лет ICAPE Россия планирует войти в топ-3 игроков российского рынка печатных плат с оборотом в \$10 млн.

Компания ICAPE Group присутствует на российском рынке печатных плат и технических деталей 15 лет. Хорошие результаты и большое количество клиентов способствовали стабильному развитию. В 2013 году компания открыла офис в Москве. С тех пор ICAPE Россия укрепляет свои позиции, и в 2019 году перед ней стоит задача завоевать доверие ещё большего количества клиентов.

Стефан Барре, вице-президент ICAPE по Европе, так комментирует ситуацию: «Российский рынок сложный, поскольку в приоритете высокие технологии. Мы отмечаем, что ICAPE Россия стабильно растёт благодаря работе на



отраслевых выставках. Наши услуги универсальны и включают в себя доставку по всему миру. Клиенту удобно работать с одной компанией для разных видов продукции и технологий. Именно это делает компанию ICAPE крупным игроком рынка микроэлектроники».

По всем интересующим вопросам обращайтесь в российский офис компании ICAPE по телефону 8 (495) 668-11-33 или e-mail: order@icaperrussia.com.

Разработка и изготовление микросборок на многослойной керамике

Андрей Щербина (Москва)

Развитие радиоэлектронной промышленности тесно связано с минимизацией изделий и применением высоко интегрированных сборок. Получение максимальной производительности при минимальном занимаемом объёме неизбежно приводит к значительному нагреву электронных компонентов. Данная проблема может быть решена посредством использования подложек с высокой теплопроводностью.

В силовой электронике и микроэлектронике используются керамические подложки, полученные на основе процессов тонких или толстых плёнок. Компанией «ТЕСТПРИБОР» освоены технологии изготовления однослойных и многослойных подложек из керамики на основе оксида алюминия Al_2O_3 , нитрида алюминия AlN и оксида бериллия BeO . Изделия из вышеуказанных материалов характеризуются высокой теплопроводностью, низким коэффи-

циентом теплового расширения, низкими диэлектрическими потерями и высокой механической прочностью.

В качестве примера применения данных технологий рассмотрим процесс разработки корпуса для микросборки, схема которой приведена на рисунке 1. Эта микросборка является частью схемы DC/DC-преобразователя напряжения. Основное требование, которое предъявлялось к корпусу микросборки, – отвод тепла, выделяемого на поле-

вых транзисторах VT2 и VT3, до 4 Вт на каждом. Микросборка должна работать в условиях вакуума. Максимальная температура кристаллов не должна превышать $+125^\circ C$ при максимальной допустимой температуре окружающей среды $+65^\circ C$.

В экспериментальной схеме, предложенной разработчиком, использовались корпусные транзисторы в корпусе КТ-94. В микросборке используются кристаллы транзисторов с параметрами, приведёнными в таблице 1. Размеры кристаллов составляют $5,6 \times 5,0$ мм и $7,33 \times 7,31$ мм.

Для решения поставленной задачи с учётом возможностей производства наиболее подходящими являются два материала: оксид алюминия с чистотой 99,5% или нитрид алюминия. Параметры материалов приведены в таблице 2. Толщина одного слоя керамики после обжига составляет 0,25 мм.

Рассмотрим, как отводится тепло от кристалла, установленного на керами-

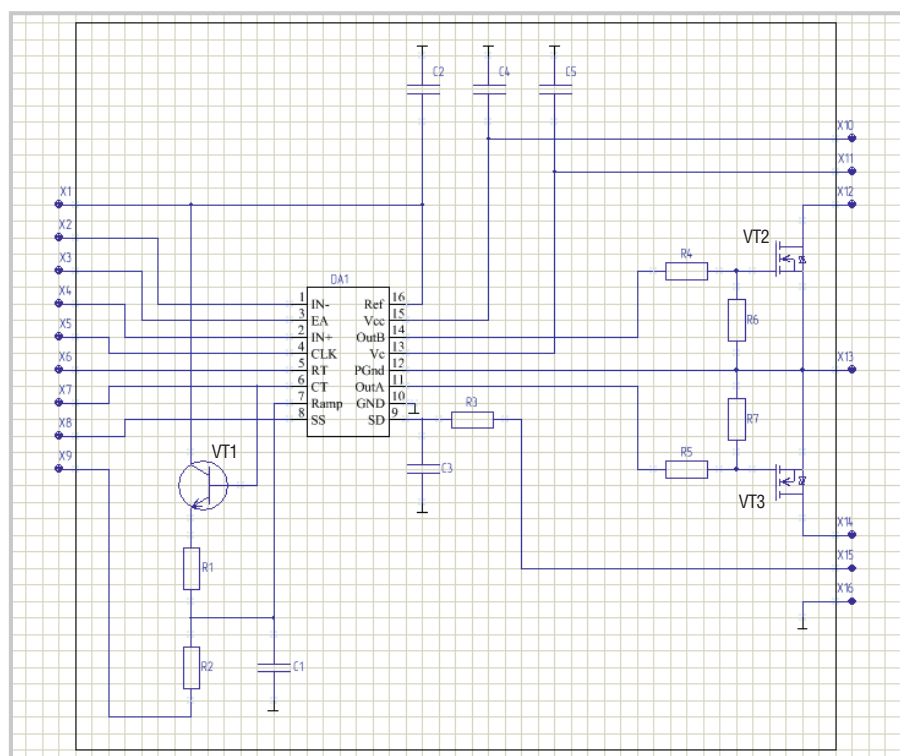


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема микросборки

Таблица 1. Параметры полевых транзисторов

Наименование	$U_{\text{си}}, \text{В}$	$I_{\text{с}}, \text{А}$	$R_{\text{си}}, \text{Ом}$	$C_{\text{т1}}, \text{нФ}$	Корпус	Размер, мм
2П768П92	400	11	0,42	1,9	КТ-94	11,6×16,0
2П768П-5	400	11	0,42	1,9	Кристалл	5,6×5,0
2П794В92	400	18	0,2	3,3	КТ-94	11,6×16,0
2П794В-5	400	18	0,2	3,3	Кристалл	7,33×7,31

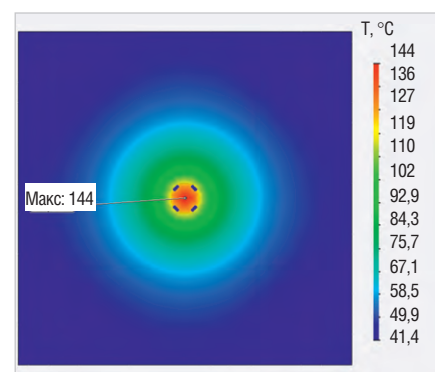


Рис. 2. Распределение тепла на Al_2O_3 размером 80×80 мм

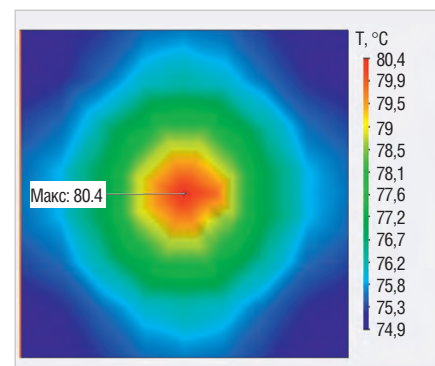


Рис. 3. Распределение тепла на AlN размером 18×18 мм

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАТ И ПОДЛОЖЕК

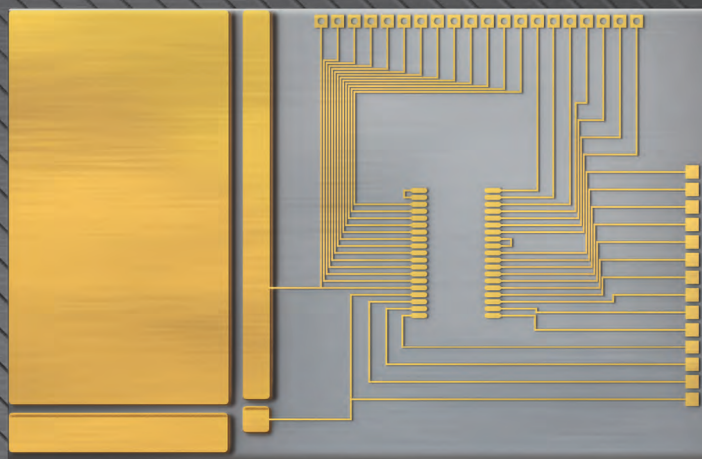
ТЕСТПРИБОР

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

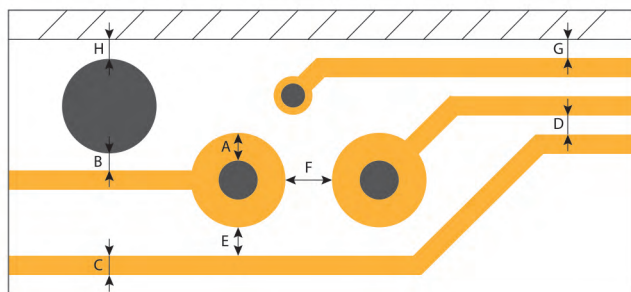
Al₂O₃ 96%

Al₂O₃ 99,6%

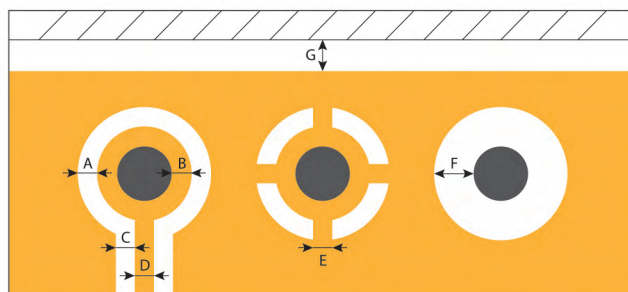
AlN



ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ СИГНАЛЬНЫХ СЛОЕВ



ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ СИЛОВЫХ СЛОЕВ



Наименование параметра	Керамические подложки с металлизацией на основе толсто пленочной технологии	Керамические подложки с металлизацией на основе тонко пленочной технологии
Материал проводников и металлизации	W/Ni-Au или Mo/Ni-Au (Ni 5 мкм max, Au 0,5 мкм max)	TiW/Au; TaN/TiW/Au; TiW/Ni/Au; TaN/TiW/Ni/Au; TaN/NiW/Au/Cu/Ni/Au
Поверхностное сопротивление проводников	10,0 МОм/□	—
Сопротивление переходных отверстий размером (Ø0,2×0,25) мм	6,0 МОм	—
A	0,20	0,20/020
B	0,60	0,25/025
C	0,20	0,15/0,20
D	0,20/0,25	0,15/0,20
E	0,20/0,30	0,15/0,38
F	0,25/0,65	0,15/0,30
G	0,60/0,60	0,25/0,50
H	0,60/-	0,15/-

Реклама



ку из оксида алюминия и нитрида алюминия, при условии, что тепло с подложки может рассеиваться только с основания корпуса микросборки на корпус изделия, куда будет установлена микросборка. Одним из критериев определения достаточной площади для отвода тепла от кристалла – это температура в установившемся режиме. Она не должна превышать +80...+85°C при температуре окружающей среды +20°C.

Кристалл размером 5,6×5,0 мм, установленный в центр керамической подложки на основе оксида алюминия размером 80,0×80,0 мм, нагревается до температуры выше +140°C (см. рис. 2). При этом тепло не рассеивается по всей площади подложки. Таким образом, данное решение не удовлетворяет предъявляемым к изделию требованиям. Аналогичные результаты получаются и для второго кристалла размером 7,33×7,31 мм.

Кристалл размером 5,6×5,0 мм, установленный в центр керамической подложки из нитрида алюминия размером 18,0×18,0 мм, нагревается до +80,4°C (см. рис. 3), что удовлетворяет требованиям. Расчёт температуры второго кристалла размером 7,33×7,31 мм, установленного на такую же подложку, показал результат +78,9°C, что также удовлетворяет требованиям задания.

На рисунке 4 представлено расчётное распределение температуры кристаллов, установленных на керамическую подложку 36,0×18,0 мм, при работе двух транзисторов одновременно. Максимальная температура нагрева кристалла не изменилась. Исходя из полученных результатов, выбранные габариты корпуса составили 36,0×18,0 мм.

Таблица 2. Параметры керамики

Материал	Оксид алюминия (99,5%)	Нитрид алюминия
Химическая формула	Al ₂ O ₃	AlN
Температура плавления, °C	2072	2397...2507
Максимальная рабочая температура, °C	+1750	+1027...+1727
Коэффициент теплового расширения, 1×10 ⁻⁶ ·°C ⁻¹	7,0...8,4	4,3...9,0
Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·K)	880	740–820
Теплопроводность, Вт/м ² ·K	25,5...35,0	60...177
Диэлектрическая проницаемость	9,8	8,3...9,3
Объёмное удельное сопротивление, Ом·см	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴

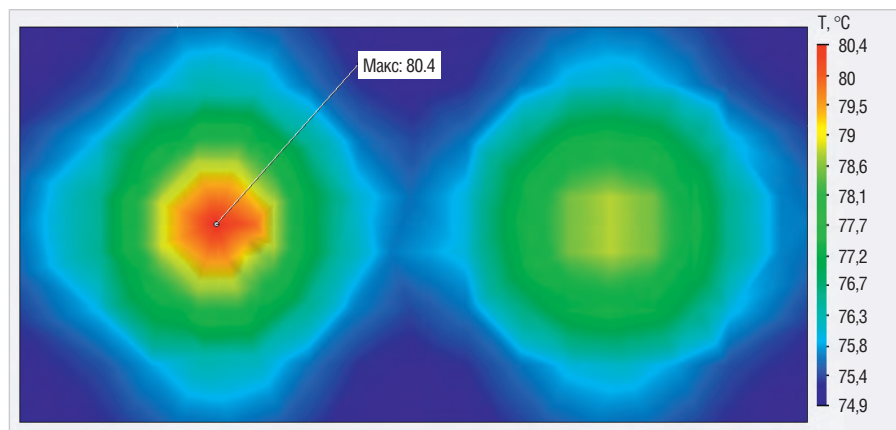


Рис. 4. Распределение тепла на AlN размером 36×18 мм от двух кристаллов

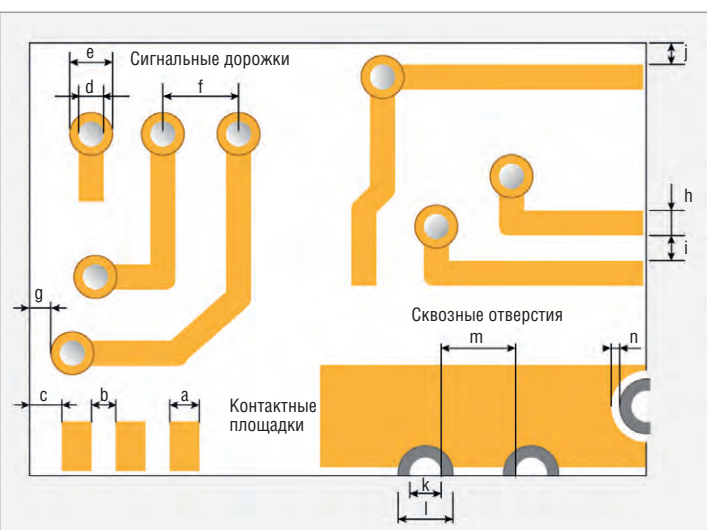
Одной из технологий производства, которой обладает компания АО «ТЕСТПРИБОР», является производство высокотемпературной керамики НТСС. Отличительная особенность данной керамики от низкотемпературной заключается в более высокой температуре спекания слоёв керамических плат – +1500...+1600°C (в технологии LTCC температура спекания не превышает +1000°C). Достоинствами керамики НТСС являются:

- малые допуски на размеры – благодаря низкому коэффициенту теплового расширения обеспечивается повышенная стабильность размеров корпусов;

- коэффициент теплового расширения (КТР) высокотемпературной керамики достаточно близок к КТР кремния, что позволяет монтировать кристаллы непосредственно на керамическое основание;
- высокие диэлектрические и тепловые характеристики корпусов: в зависимости от используемой марки керамики электрическая прочность варьируется от 45 до 60 кВ/мм, тангенс угла диэлектрических потерь (tg δ) – от 0,006 до 0,021, а диэлектрическая проницаемость (ε) – от 6 до 10 в гигагерцовом диапазоне частот;

Таблица 3. Технологические возможности производства керамики НТСС

Технологический элемент	Размер, мкм	Обозначение
Контактные площадки	Ширина площадки	≥250 a
	Расстояние между площадками	≥200 b
	Расстояние от площадки до края подложки	≥150 c
Сигнальные дорожки	Диаметр отверстия	≥150 d
	Диаметр площадки	≥400 e
	Шаг отверстия	≥650 f
	Расстояние от площадки до края подложки	≥650 g
	Ширина дорожки	≥150 h
	Расстояние между дорожками	≥100 i
	Расстояние от дорожки до края подложки	≥500 j
Сквозные отверстия	Диаметр отверстия	≥400 k
	Диаметр площадки	a + 300 l
	Расстояние между вырезами	≥600 m
	Расстояние от площадки до проводящего слоя	≥200 n



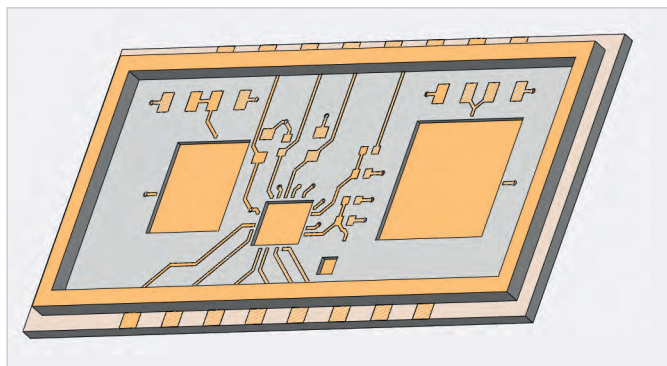


Рис. 5. Корпус микросборки

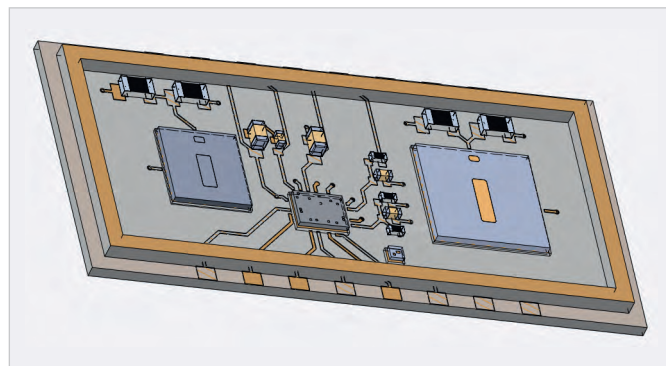


Рис. 6. Внешний вид микросборки

- возможность создания многослойных герметичных керамических плат: высокотемпературная керамика имеет плотную структуру, а после спекания многослойные керамические модули становятся монолитными;
- хорошее заполнение переходных отверстий и линий металлизации в плате вольфрамовой или молибденовой пастой;
- высокая твердость используемых керамических материалов.

Гарантированные технологические возможности производства данной керамики приведены в таблице 3.

Исходя из имеющихся технологических возможностей был разработан корпус микросборки (см. рис. 5). Так как площадь для отвода тепла под кристаллом довольно большая, то плотность микросборки получилась относительно низкой. Внешний вид микросборки (корпуса с установленными компонентами) представлен на рисунке 6.

Данная микросборка содержит 4 кристалла и 12 SMD-компонентов. Преимущества данной микросборки, и вообще микросборок, в том, что она занимает меньше места, имеет меньшую массу по сравнению с этой же схемой, сделан-

ной на отдельных элементах в корпусах. Это особенно важно для изделий, предназначенных для использования в космической технике.

В более сложных схемах и больших сборках при многоуровневом расположении компонентов проще не делать экран на всю сборку, а реализовать защиту отдельных элементов от радиации, что уменьшает массу изделия.

АО «ТЕСТПРИБОР» имеет возможность разработки и изготовления микросборок на многослойной керамике из Al_2O_3 и AlN согласно требованиям заказчика.



Надежные тестовые решения требуют лучших технологий

РАЗРАБОТКА

Получайте полностью работоспособные опытные образцы

ПРОИЗВОДСТВО

Сделайте производственную линию совершенной с технологиями JTAG

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Ремонтируйте цифровые платы даже при отсутствии CAD-данных на них



JTAG 25

We are boundary-scan.®

www.jtag.com • www.jtaglive.com • +7 812 602 09 15 • russia@jtag.com

Реклама

Особенности конструкции и применения СВЧ-вводов для соединителей миллиметрового диапазона

Кива Джуринский (kbd.istok@mail.ru)

В статье рассматриваются особенности конструкции и применения современных импортных и отечественных СВЧ-вводов для соединителей миллиметрового диапазона. Приводятся их основные типоразмеры и характеристики. Обсуждаются проблемы, возникающие как при производстве СВЧ-вводов, так и при их монтаже.

Рабочий диапазон частот коаксиальных соединителей миллиметрового диапазона длин волн (далее соединители мм-диапазона) начинается с 30 ГГц. В эту группу входят следующие соединители: 3,5 мм (предельная рабочая частота 33 ГГц), 2,92 мм (40 ГГц), 2,4 мм (50 ГГц), 1,85 мм (65 ГГц), 1,0 мм (110 ГГц) и 0,8 мм (145 ГГц) [1–4]. В настоящее время разработаны и выпускаются составные (field replaceable – заменяемые в полевых условиях) соединители мм-диапазона, представляющие собой сочетание миниатюрного СВЧ-ввода и, собственно, соединителя, часто называемого СВЧ-разъёмом, с цанговым соединением между ними [2, 3]. При этом СВЧ-разъём чаще всего выполнен в виде фланцевой конструкции – прямоугольный или квадратный фланец, прикручиваемый 2 или 4 винтами к стенке корпуса изделия (см. рис. 1а).

Реже разъём выполняется в виде резьбовой конструкции, вкручиваемой в корпус (см. рис. 1б).

Герметичность соединителей обеспечивает миниатюрный металlostеклянный СВЧ-ввод, впаяваемый в корпус изделия. Ввод представляет собой спай стеклянного изолятора с металлической втулкой (наружный проводник) и центральным проводником. Изоляторы (стеклянные таблетки) СВЧ-вводов изготавливают из монолитного или порошкового стекла. Для изготовления изоляторов СВЧ-вводов с предельной рабочей частотой до 40 ГГц применяют боросиликатное стекло марки Corning 7052 с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=4,9$, тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta=80 \times 10^{-4}$. Для изготовления вводов с рабочей частотой более 40 ГГц все зарубежные компании применяют стекло марки Corning

7070: $\epsilon=4,1$, $\text{tg}\delta=20 \times 10^{-4}$. В нашей стране единственная марка стекла, применяемого для изготовления изоляторов СВЧ-вводов, – С52-1: $\epsilon=5,2$, $\text{tg}\delta=95 \times 10^{-4}$. На рисунке 2 показаны основные размеры СВЧ-вводов и их внешний вид.

Расчётные значения предельной частоты в зависимости от размеров коаксиальной линии СВЧ-вводов, заполненной стеклами с разной диэлектрической проницаемостью, приведены в таблице 1.

Для воздушной коаксиальной линии отношение $D_1/d=2,3$ [2, 3]. Для СВЧ-вводов с предельной частотой 125 ГГц компания Thunderline-Z рекомендует применять вводы с центральным проводником диаметром 0,127 мм, наружным диаметром изолятора из стекла Corning 7070 – 0,68 мм и наружным диаметром ввода 1,52 мм.

ЗАРУБЕЖНЫЕ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СВЧ-ВВОДЫ

За рубежом герметичные СВЧ-вводы выпускают многие американские компании, несколько европейских, а также компании Юго-Восточной Азии. В России СВЧ-вводы мм-диапазона выпускают несколько предприятий. СВЧ-вводы отечественных и зарубежных компаний представлены в таблице 2. Размеры в примечаниях таблицы 2 соответствуют обозначениям, приведённым на рисунке 2. Фактическое количество производителей значительно больше, прежде всего, за счёт компаний Юго-Восточной Азии. Кроме того, многие крупные компании, разрабатывающие и выпускающие соединители мм-диапазона, сами не производят СВЧ-вводы, а приобретают их у специализированных компаний. Рассмотрим СВЧ-вводы некоторых производителей.

Компания Dynawave, начиная с 1985 года, выпускает герметичные металlostеклянные СВЧ-вводы 3 типоразмеров для составных соединителей 2,4 мм с предельной рабочей частотой 50 ГГц. Для соединителей 2,92 и 2,4 мм разработаны СВЧ-вводы 48 типоразмеров, отличающихся только длиной центрального проводника l_1 , l_2 , l_3



Рис. 1. Составные соединители мм-диапазона: а) фланцевые; б) резьбовые

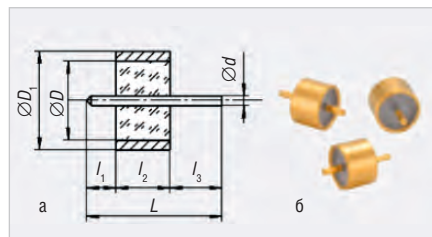


Рис. 2. Конструкция СВЧ-ввода (а) и его внешний вид (б)

Таблица 1. Предельная частота коаксиальной линии СВЧ-вводов

Диаметр центрального проводника, d , мм	Предельная частота и размеры коаксиальной линии, заполненной стеклами с разной диэлектрической проницаемостью					
	Corning 7052 ($\epsilon=4,9$)		Corning 7070 ($\epsilon=4,1$)		С 52-1 ($\epsilon=5,2$)	
	$f_{\text{пред}}, \text{ГГц}$	$D_1, \text{мм}$	$f_{\text{пред}}, \text{ГГц}$	$D_1, \text{мм}$	$f_{\text{пред}}, \text{ГГц}$	$D_1, \text{мм}$
0,23	–	–	64,2	1,22	–	–
0,28	42,0	1,78	52,7	1,51	38,8	1,88
0,30	41,0	1,93	49,9	1,62	36,2	2,01
0,38	30,9	2,4	38,8	2,05	28,6	2,52
Отношение D_1/d	6,35		5,35		6,7	

(см. рис. 2). Предельная рабочая частота этих вводов 46–49 ГГц. Для составных соединителей 3,5 и 2,92 мм компания выпускает СВЧ-вводы 4 типоразмеров. Предельная рабочая частота этих вводов 41–42 ГГц. Наконец, для соединителей 3,5 мм, а также SMA разработаны СВЧ-вводы 18 типоразмеров с предельной частотой 37 ГГц.

Компания Sinclair Manufacturing (Hermetic Solutions Group) производит 30 различных герметичных СВЧ-вводов с наружным диаметром D_1 от 1,27 до 2,49 мм для составных соединителей мм-диапазона. Вводы предназначены для герметичного соединения с корпусами из алюминиевых сплавов и титана.

Компания Special Hermetic Products (SHP) свыше 60 лет является одним из мировых лидеров производства герметичных металлокерамических вводов и соединителей на их основе. SHP выпускает 16 типов стандартных СВЧ-вводов с использованием стекла марок Corning 7052 и Corning 7070 для применения в изделиях с корпусами из алюминиевых сплавов. Кроме того, разработаны шесть типов прецизионных вводов с диаметром центрального проводника 0,23 и 0,3 мм и предельной частотой 65 ГГц. Центральный проводник ввода скруглён с одного конца, реже – с обоих концов. SHP имеет высокий уровень технологии пайки металлокерамических узлов: контролируются степень окисления металла, отсутствие в спае микротрещин и менисков стекла, качество покрытия вводов. Компания гарантирует герметичность вводов на уровне 10^{-8} см³/с (при давлении гелия 1 атм).

Компания Southwest Microwave разработала СВЧ-вводы 8 типоразмеров с изолятором из стекла Corning 7070 (см. рис. 3). Вводы с центральным проводником диаметром 0,23 мм предназначены для работы с составными коаксиально-микрополосковыми переходами с предельной частотой 40, 50, 65 и 110 ГГц. Вводы с центральным проводником диаметром 0,3 и 0,38 мм применяют на частотах 40 и 50 ГГц, а с диаметром 0,46 мм – на частотах 30 и 40 ГГц. Диапазон рабочих температур СВЧ-вводов: –55...+300°C.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ ВВОДОВ ДЛЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ММ-ДИАПАЗОНА

Основные электрические параметры (КСВН и величина потерь) гер-

Таблица 2. СВЧ-вводы зарубежных и отечественных компаний

Производитель	d / D_1 , мм	f , ГГц	Источник	Примечания
США				
Thunderline-Z; Southwest Microwave; Delta Electronics Manufacturing; Anoison Electronics; Sinclair Manufacturing	0,23 / 1,7 0,30 / 1,93 0,38 / 2,50	40; 50; 65 40; 50 40	www.thunderlinez.com, www.southwestmicro-wave.com, www.deltarf.com, www.anoison.com, www.sinclairmfg.com	Стекла: Corning 7070 Corning 7052
Special Hermetic Products	0,23 / 2,0 0,30 / 1,93 0,38 / 2,5	65 49 40	www.shp.com	Стекло Corning 7070
Dynawave	0,23 / 1,6 0,28 / 1,93 0,30 / 1,93 и 2,50 0,33 / 1,98 0,38 / 2,50	50 46–50 46–48 41–42 37	www.dynawave.com	Стекла: Corning 7070 Corning 7052
M/A-COM (TE Connectivity); Gilbert Corning; Amphenol (SV Microwave)	0,30 / 2,46 0,38 / 2,46 0,23 / 1,7 0,30 / 1,93	40 30 50; 65 40	www.te.com www.corninggilbert.com www.svmicrowave.com	Стекла: Corning 7070 Corning 7052
Франция, Швейцария				
Radiall (Франция)	0,30 / 1,93; 2,46 0,38 / 2,50	46 40	www.radiall.com	–
Huber+Suhner (Швейцария)	0,30 / 1,93	40	www.hubersuhner.com	–
Юго-Восточная Азия				
Anritsu Corporation (Япония, США)	0,23 / 1,7 0,3 / 1,93	65 40	www.anritsu.com	–
Waka Manufacturing (Япония)	0,15 / 1,4 0,2 / 1,7 0,3 / 1,93	110 67 40	www.waka.co.jp	Corning 7070, порошковое
Giga Lane Co., Ltd. (Корея)	0,3 / 2,0	50	www.gigalane.com	$l_2=1,6$ мм, $L=7,94$ мм
Bo-jiang Technology; Frontlynk Technologies (Тайвань)	0,3 / 1,93	67	www.bojiang.com.tw www. frontlynk.com	Corning 7070, порошковое
Chengdu AINFO Inc. (Китай)	0,30 / 2,0; 0,38 / 2,50	40; 50; 65 40; 50	www.ainfoinc.com	–
Xi'an Elite Electronic Industry (Китай)	0,23 / 1,7; 0,25 / 1,7; 0,30 / 1,9; 2,0; 2,5; 4,4	40; 50	www.xa-elite.com.cn	44 типа. Стекла Corning 7070 и 7052
Cmptel Electronics (Китай)	0,23 / 1,73; 0,31 / 1,93; 0,38 / 2,49	40; 50	www.cmptel.com	–
Российская Федерация				
АО «НПП «Исток» им. Шокина»	0,3 / 2,4	40	www.istokmw.ru	$l_2=2$ мм $l_2=4$ мм $L=6$ мм ТС3.575.343, ТС3.575.343-01 Покрытие: Н1.3л2
	0,4 / 3,4	36		$l_2=1,8$ мм. КРПГ.433434.015, КРПГ.433434.015-02 Покрытие: Н3.3л-Ко (6)
АО «НПФ «Микран»	0,30 / 1,93	40	www.micran.ru	$L=3,17$ мм $L=6$ мм $L=11,8$ мм МК100А, МК100Б, МК100В. Покрытие: износостойкое золото
	0,30 / 2,25	50		$L=3,17$ мм, $L=4$ мм. МК100М, МК100МС. Покрытие: износостойкое золото

ально концентричен с наружным проводником (соосность не хуже 5 мкм), размеры допусков на графитовой оснастке должны быть очень маленькими. Так как графит по своей природе анизотропный и довольно хрупкий материал, для изготовления оснастки миниатюрных СВЧ-вводов применяют графит высокой чистоты со средним размером зерна не более 5 мкм [5].

Кроме того, все монтажные операции (сборка и демонтаж после пайки) необходимо выполнять с использованием оптического микроскопа при увеличении до 40 крат [5]. При таком увеличении даже небольшая вибрация на рабочем месте или неустойчивость рук оператора создают проблемы при сборке.

ДЕФЕКТЫ В МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННОМ СПАЕ СВЧ-ВВОДА

В спаих стекла с металлом всегда имеются внутренние напряжения: радиальные, тангенциальные и аксиальные. Эти напряжения могут быть коэффициентными, вызванными различием в коэффициентах термического расширения (КТР) стекла и металла, временными и остаточными. Причиной возникновения временных и остаточных напряжений под действием градиента температуры является низкая теплопроводность стёкол всех марок. Чтобы не произошло разрушение стекла в спае, необходимо, чтобы сумма всех напряжений не превышала предела прочности стекла.

Основные дефекты спая стекла с металлом – это трещины и отлипание стекла. Природа этих дефектов одинакова: недопустимо высокие напряжения в стекле. Если стекло имеет слабую адгезию к металлу, то происходит его отлипание от металла. При сильной адгезии в стекле, как в самом слабом звене спая, возникают трещины. Радиальная трещина в стекле возникает, если КТР стекла больше КТР центрального проводника. Если КТР стекла меньше КТР центрального проводника, возможно появление круговой трещины [6]. Трещины и отлипания возникают из-за неправильного выбора конструкции спая и соединяемых материалов, недопустимо высоких скоростей нагрева и охлаждения, плохого отжига спая.

Другой распространённый дефект спаев – пузыри в стекле. Появление пузырей в стекле обусловлено недостаточным обезуглероживанием металлических деталей спая

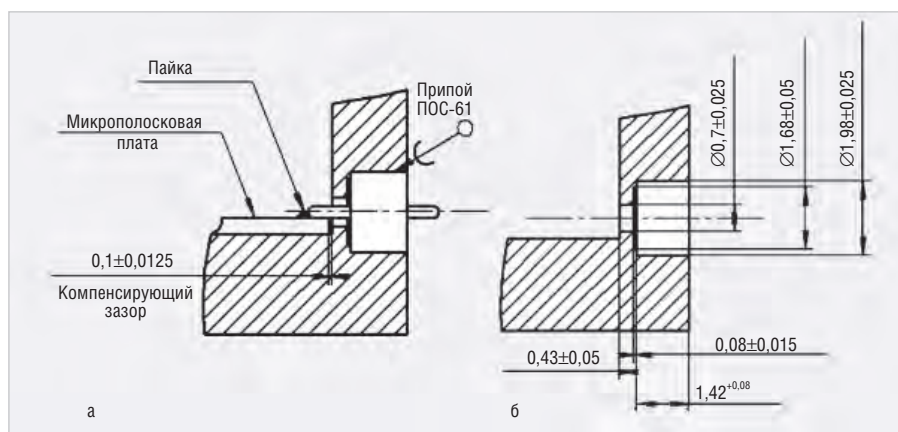


Рис. 5. СВЧ-ввод МК100А: а) установка в корпус изделия; б) разделка корпуса под установку ввода

(пузырьки CO_2) вследствие завышенного содержания углерода в металле, а также низкой температурой и малой продолжительностью отжига металлических деталей перед пайкой СВЧ-ввода. Кроме того, причиной появления пузырей может быть плохая предварительная очистка стеклянных изоляторов. Из-за этого также ухудшается адгезия стекла к металлу. Отдельные мелкие разрозненные пузыри не представляют опасности. Однако пузыри размером более 1/3 ширины спая и сплошные пузыри в виде цепочек ослабляют спай: ухудшают его прочность и герметичность.

Нередко возникает брак по геометрическим размерам и форме спая. Он вызван неправильным выбором размеров стеклянного изолятора и металлической детали, ошибками при конструировании оснастки для пайки и несоблюдением температурно-временного режима пайки. Ещё один дефект – сильное окисление металла, обусловлено наличием в защитной среде молекул воды и кислорода.

ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ СВЧ-ВВОДОВ В КОРПУС ИЗДЕЛИЯ

СВЧ-вводы устанавливают в корпусе изделия низкотемпературной пайкой. Для обеспечения требуемого уровня КСВН необходимо предусмотреть в корпусе воздушную коаксиальную секцию и компенсирующую ступеньку. На рисунке 5а показан пример установки СВЧ-ввода МК100А (АО «НПФ «Микран») с центральным проводником $\varnothing 0,3$ мм, наружным проводником $\varnothing 1,93$ и длиной 1,4 мм. На рисунке 5б приведена разделка корпуса под установку этого ввода с указанием размеров воздушной секции и компенсирующей ступеньки.

Центральный проводник СВЧ-ввода должен быть соединён с полоском микрополосковой линии (МПЛ). В области перехода с МПЛ на коаксиальную линию СВЧ-ввода на относительно коротком расстоянии должно происходить превращение ТЕМ-волны, распространяющейся в коаксиальной линии, в квази ТЕМ-волну в МПЛ. Необходимо, чтобы соединение центрального проводника с полоском МПЛ, а наружного проводника СВЧ-ввода с корпусом изделия обеспечивало оптимальные параметры согласования, достаточную механическую прочность и устойчивость к воздействию внешних факторов.

На рисунке 5а показано соединение «внахлест», когда центральный проводник лежит на полоске МПЛ, осуществляемое низкотемпературной пайкой. Соединение «внахлест» допустимо применительно к измерительной аппаратуре, не подвергающейся воздействию смены температур и вибрациям. В изделиях микроэлектроники СВЧ его применение нежелательно, так как при циклическом изменении температуры из-за разности коэффициентов термического расширения материалов корпуса и платы оно подвержено разрушению. В таких случаях рекомендуется применять переключки, соединяющие торец центрального проводника с полоском МПЛ [3]. Однако при этом возникает проблема соединения переключкой тонкого центрального проводника диаметром менее 0,3 мм с узким полоском МПЛ.

Поэтому для СВЧ-вводов мм-диапазона целесообразно применение скользящего контакта. Скользящий контакт представляет собой миниатюрную трубку из термически упрочнённой бериллиевой бронзы, покрытую износостойким золотом, раз-

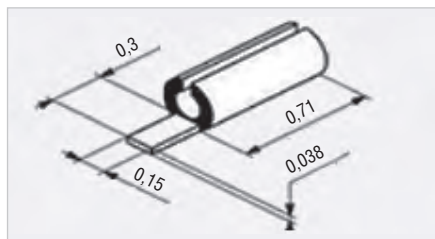


Рис. 6. Скользящий контакт для СВЧ-вводов с центральным проводником $\varnothing 0,3$ мм [3]

резанную вдоль продольной оси и имеющую на одном конце лепесток для соединения с МПЛ. Для центрального проводника $\varnothing 0,3$ мм конструкция скользящего контакта показана на рисунке 6 [3].

Основное назначение скользящего контакта – повышение надёжности соединения МПЛ и центрального проводника СВЧ-ввода при температурных, вибрационных и ударных воздействиях. К тому же применение скользящих контактов существенно облегчает сборку изделий с большим количеством СВЧ-вводов, расположенных близко друг к другу.

При сборке скользящий контакт, представляющий собой цангу, аккуратно, при наблюдении в микроскоп, надевают на центральный проводник СВЧ-ввода. Лепесток скользящего контакта размещают на полоске МПЛ и припаивают или приваривают (термокомпрессионной сваркой или сваркой расщеплённым электродом) к нему. При воздействии температу-

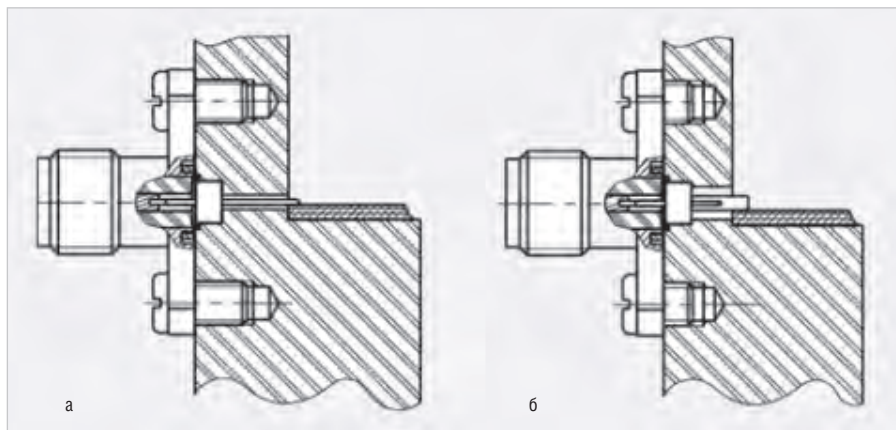


Рис. 7. Соединение СВЧ-ввода составного соединителя с МПЛ: а) без скользящего контакта; б) со скользящим контактом

ры и вибраций контакт скользит по поверхности центрального проводника СВЧ-ввода, что предотвращает образование напряжений в соединении с МПЛ.

Соединение СВЧ-ввода фланцевого составного соединителя с МПЛ без скользящего контакта и со скользящим контактом показано на рисунке 7. При применении скользящего контакта необходимо увеличить диаметр воздушной коаксиальной секции D_c : $D_c = 2,3 \times d_k$, где d_k – наружный диаметр скользящего контакта. Увеличение диаметра D_c облегчает изготовление корпуса изделия и очистку этой секции от флюса в случае флюсовой пайки СВЧ-ввода в корпус изделия.

В настоящее время разработку и выпуск скользящих контактов осуществляют по

крайней мере 4 зарубежные компании. Компания Anritsu выпускает серию контактов для соединения с центральными проводниками диаметром 0,3 и 0,4 мм. Huber+Suhner ограничилась выпуском скользящих контактов только для диаметра проводника 0,3 мм. Компании Radiall и Applied Engineering Products выпускают скользящие контакты для диаметров центрального проводника 0,3 и 0,38 мм. Кроме этого Applied Engineering Products выпускает контакт для диаметра проводника 0,46 мм. В России производство скользящих контактов оригинальной конструкции [7] освоил Иркутский релейный завод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джурицкий К.Б., Криворучко В.И. Радиочастотные коаксиальные соединители с предельной частотой 145 ГГц. Конец эволюции соединителей? Современная электроника. №7. 2019.
2. Джурицкий К.Б. Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. – М., ООО «Ваш Формат», 2018. 400 с.
3. Джурицкий К.Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. Под редакцией д.т.н. Борисова А.А. Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит, С-Петербург, 2014. 426 с.
4. Джурицкий К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М., «Техносфера», 2006. 216 с.
5. Powers M. Precision glass-to-metal seals for high frequency microwave applications. Conference Paper, April 2000.
6. Common Problems with Glass-to-Metal Seal Design. Elan Technology, www.elantechnology.com.
7. Джурицкий К.Б., Коцюба А.М., Легенкин С.А. Патент на полезную модель №162470. Скользящий контакт в диапазоне СВЧ. Заявка № 2015143629. Приоритет полезной модели 12 октября 2015 года. ©

IF/RF & Microwave Design

Advantex

СВЧ-блоки

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



Простой выбор источника питания

Компания XP Power предлагает широкий ряд стандартных и конфигурируемых устройств электропитания AC/DC и DC/DC. Источники питания сочетают подтверждённую надёжность с габаритами и ценой, соответствующими практически любому требованию.



Источники питания открытого типа

- от 5 до 350 Вт
- Компактная конструкция
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



Конфигурируемые источники питания

- от 25 до 5000 Вт
- Высокоэффективная конструкция
- Работа от одно- и трёхфазной сети
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



Для монтажа на DIN-рейку

- от 5 до 960 Вт
- Сверхкомпактные
- AC/DC- и DC/DC-преобразователи



Корпусированные источники питания

- от 25 до 5000 Вт
- Высокоэффективная конструкция
- Сертифицированы для медицинского и ИТ-оборудования



DC/DC-преобразователи

- от 0,25 до 750 Вт
- Монтаж в отверстия печатной платы и поверхностный монтаж
- Для железнодорожного и медицинского оборудования



Высоковольтные источники питания

- До 500 кВ и 200 кВт
- Конструкция модульного типа и для монтажа в стойку
- Входное напряжение переменное и постоянное



Выбор и использование ферритовых бусин для подавления звона в импульсных преобразователях

Кристофер Ричардсон, Ранжит Браманпалли (Würth Elektronik)

В статье рассматриваются ферритовые бусины типоразмеров 0603 и 0805 компании Würth Elektronik, которые позволяют уменьшить скорость нарастания импульсов в переходных процессах при коммутации MOSFET верхнего плеча в синхронном понижающем преобразователе, чтобы уменьшить амплитуду и продолжительность звона.

ВВЕДЕНИЕ

«Звон» – распространённый термин, обозначающий нежелательные колебания, которые происходят при коммутации ключа и наличии паразитных индуктивностей и ёмкостей. Паразитная ёмкость ключа, высвобождающая энергию при его переключении, образует звон с паразитными индуктивностями дискретных силовых дросселей, проводников печатной платы, выводов компонентов, разёмов и т.д. Поскольку у печатных плат всегда имеются паразитные элементы, все импульсные преобразователи генерируют, по крайней мере, незначительный звон. Частоты этих электромагнитных помех (ЭМП), как правило, находятся в диапазоне 50–200 МГц. На этих частотах проводники печатных плат, а также входные и выходные выводы работают как антенны, приводя к появлению кондуктивных помех и излучаемого шума.

Большинство импульсных преобразователей работает на частотах до 5 МГц. Поскольку мощность высших гармонических составляющих, возникающих при коммутации, как правило, очень мала на частотах до 50 МГц и выше, на осциллограмме излучаемых ЭМП эти гармони-

ки маскируются основной частотой и могут остаться незамеченными. Кроме того, если пульсации основной частоты относительно просто подавляются с помощью LC-фильтров, то с гармониками высших порядков дело обстоит иначе. На частотах 50–200 МГц многие дроссели фильтра ведут себя не как индуктивности, а как ёмкости, и практически перестают ослаблять сигналы. Схожим образом ведут себя и конденсаторы фильтра, импеданс которых в диапазоне 50–200 МГц приобретает индуктивный характер. В таких случаях более эффективным способом фильтрации является использование ферритовых бусин, поскольку у них очень малое сопротивление на низких частотах (как правило, меньше 10 МГц). Однако у этих компонентов очень большие резистивные потери в диапазоне частот от 10 МГц до 1 ГГц, что зависит от их типа и конструкции. Как правило, ферриты применяются последовательно входным и выходным соединениям импульсных преобразователей, а также последовательно силовым ключам, как видно из рисунка 1.

Поскольку главным недостатком размещения ферритовых бусин на рисун-

ке 1 является прохождение через них больших токов, номинальные сопротивления этих устройств по постоянному току должны соответствовать требованиям к мощности рассеивания. Кроме того, необходимо также учитывать рассеиваемую мощность устройствами при преобразовании высокочастотного звона в тепло. Величину рассеиваемой мощности высокочастотных токов трудно рассчитать, т.к. амплитуда сигналов почти полностью зависит от паразитных элементов. На практике ферритовые бусины выбираются так, чтобы их номинальный ток в два раза превышал фактическое максимальное значение тока через эти элементы. При небольшой мощности применяются недорогие устройства для поверхностного монтажа, но при высоких значениях мощности необходимо параллельно устанавливать большие ферриты, что приводит к удорожанию схемы и уменьшению свободного места на плате.

В статье рассматриваются ферритовые бусины типоразмеров 0603 и 0805, которые позволяют уменьшить скорость нарастания фронта в переходных процессах при коммутации MOSFET верхнего плеча в синхронном понижающем преобразователе, что, в свою очередь, позволяет уменьшить амплитуду и продолжительность звона. В частности, уменьшение скорости нарастания фронта импульсов обеспечивает превосходные результаты; при этом лишь незначительно возраста-

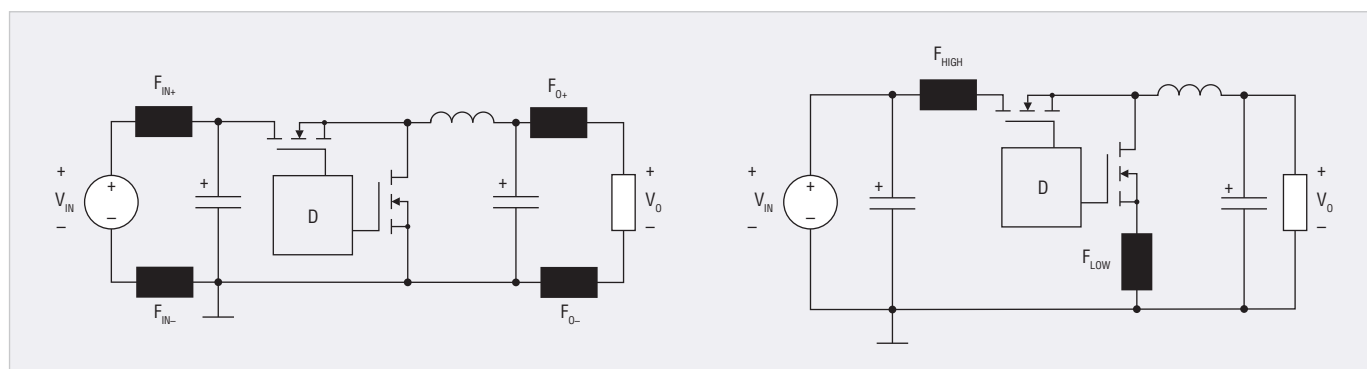


Рис. 1. Типовая схема синхронных понижающих преобразователей с использованием ферритовых бусин

Статья впервые была опубликована в журнале «Электронные компоненты» № 4, 2017.

СТИХИЯ ДЕЛУ НЕ ПОМЕХА

С НОВЫМИ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ФЕРРИТОВЫМИ БУСИНАМИ СЕРИИ MP5B ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ



Оригинальный размер:

0603

0805

1206

1612

1812

2220

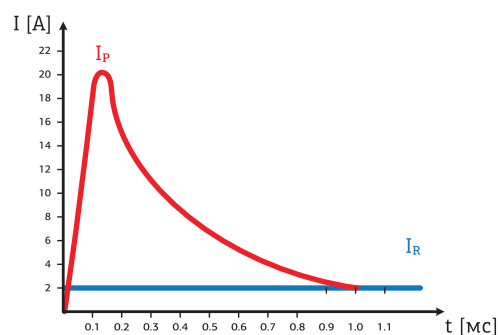
3312

Ферриты серии WE-MPSB — первые в мире, способные работать при кратковременных пиковых токах, превышающих номинальный ток в несколько раз. Благодаря чрезвычайно низкому сопротивлению R_{DS} , обеспечивается минимальный разогрев феррита. Эти уникальные компоненты способны защитить ваше изделие и продлить срок его службы. WE-MPSB идеально подходят для применения в DC/DC-преобразователях, требующих высокой эффективности.

Для получения дополнительной информации, пожалуйста, посетите сайт www.we-online.com.

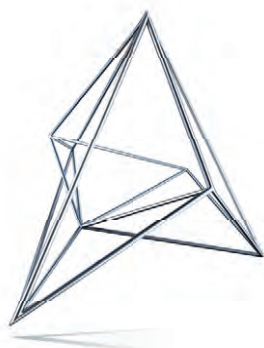
Техническая поддержка: wurth@symmetron.ru

Пример:



I_p — пусковой/пиковый ток

I_R — номинальный ток феррита



Symmetron

МОСКВА
Ленинградское шоссе, д. 69, к. 1
Тел.: +7 495 961-20-20
moscow@symmetron.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ул. Таллинская, д. 7
Тел.: +7 812 449-40-00
spb@symmetron.ru

НОВОСИБИРСК
ул. Блюхера, д. 716
Тел.: +7 383 361-34-24
sibir@symmetron.ru

МИНСК
ул. В. Хоружей, д. 1а, оф. 403
Тел.: +375 17 336-06-06
minsk@symmetron.ru

www.symmetron.ru

www.symmetron.ru/mpsb



Реклама

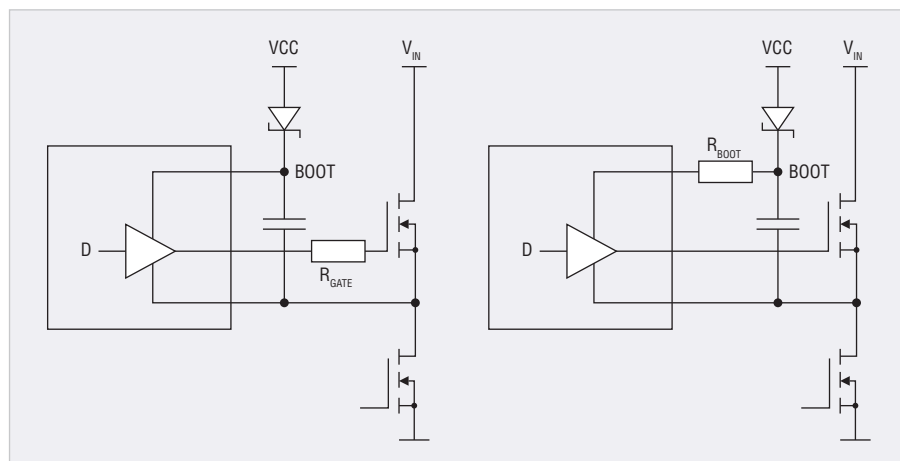


Рис. 2. Способы реализации элемента, ограничивающего скорость нарастания фронта импульсов
(Резисторы на затворе уменьшают время нарастания и спада импульсов, тогда как резисторы R_{BOOT} в бутстрепной цепи замедляют лишь нарастающий фронт)

ют потери на переключение. Эта задача решается путём тщательного выбора и настройки сопротивления, установленного в цепь затвора MOSFET или вывода с положительным напряжением питания для затвора в управляющей цепи. Однако ферритовая бусина того же размера, что и резистор, так же или даже лучше справляется с поставленной задачей. Выбор бусины осуществляется с помощью её технического описания, что намного сокращает время испытаний.

Установка бусины последовательно бутстрепной схеме

На рисунке 2 показаны два возможных способа реализации элемента, ограничивающего скорость нарастания фронта импульсов: в цепь затвора MOSFET верхнего плеча или последовательно бутстрепной цепи.

Второй способ предпочтительнее по трём основным причинам. Во-первых, при его использовании ограничивается только скорость восходящего фронта, благодаря чему экономится расходуемая мощность, т.к. в каждом цикле замедляется только один переходный процесс (при его замедлении, как известно, увеличиваются потери на переключение). Во-вторых, замедление скорости нарастания восходящего фронта управляющего MOSFET в синхронном понижающем преобразователе может стать причиной возникновения нежелательного сквозного тока между шинами питания, когда оба MOSFET одновременно находятся во включённом состоянии. В-третьих, если резистор затвора можно задействовать, только если MOSFET не встроен в преобразователь, то бутстрепный вывод доступен при использовании большинства понижающих регулято-

ров с собственными MOSFET, что повышает применимость этого метода для управляющих микросхем многих других типов.

Выбор ферритовой бусины

Для рассматриваемого приложения предлагается демо-плата DC501A с синхронным понижающим контроллером LTC3703 Linear Technology. Упрощённая схема его использования показана на рисунке 3а, а на рисунке 3б — полная схема.

Измерение частоты звона

Рассмотрим схему преобразователя, в которой отсутствуют элементы, ограничивающие скорость нарастания фронта. Как видно из рисунка 3а, типовое значение входного напряжения этого преобразователя составляет 48 В, выходное — 12 В, а максимальный выходной ток — 6 А. Для захвата восходящего фронта сигнала коммутационного узла следует выбрать полную полосу пропускания осциллографа. Воспользуемся пробником с пружинными наконечниками, который поставляется вместе с вольтметровыми щупами для осциллографов, чтобы минимизировать поступление излучаемых помех в контуре, образованном наконечником и гибким заземляющим проводом. Для испытаний было выбрано приспособление с секцией из трёх выводов, находящихся на расстоянии 2,54 мм друг от друга, с центральным усечённым выводом (см. рис. 4). Вместо отсутствующего или утерянного пружинного наконечника можно с успехом задействовать кусок неизолированного провода дли-

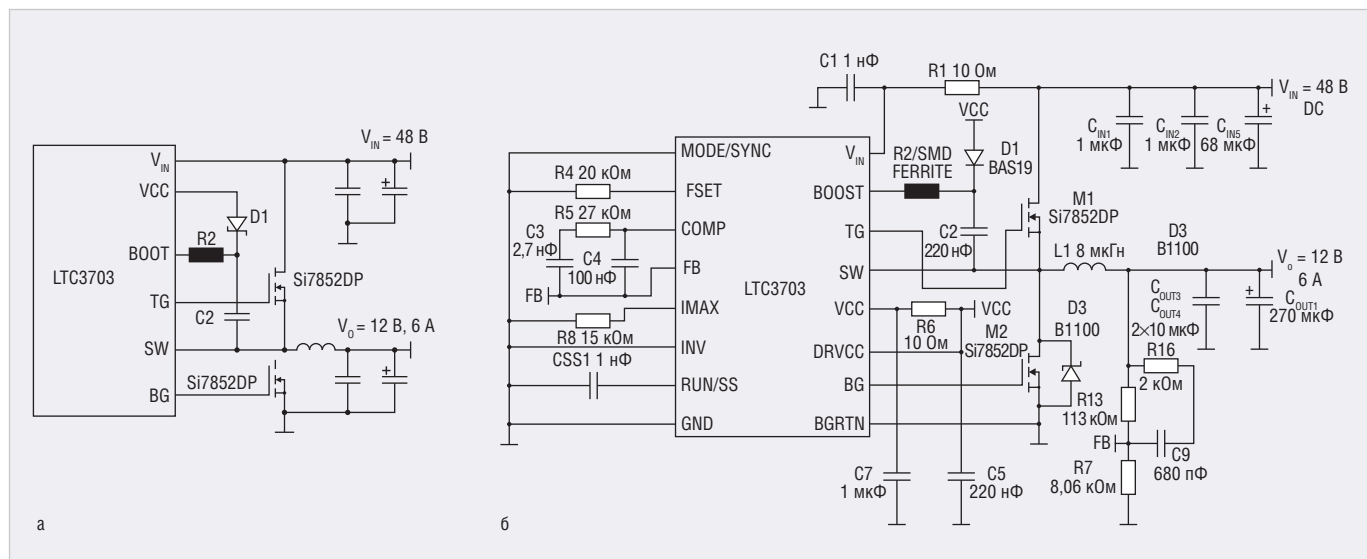


Рис. 3. Упрощённая схема (а) и полная схема (б), используемая в демо-плате DC501 (имеется элемент R2 для ограничения скорости нарастания фронта импульсов)

ной 0,5–0,75 мм, обвитого вокруг корпуса пробника.

На рисунке 5 масштаб отображения сигнала выбран так, чтобы можно было легко измерить частоту звона. В данном случае она равна 150 МГц.

Расчёт или измерение среднего бустрепного тока

Средний бустрепный ток силового MOSFET верхнего плеча рассчитывается следующим образом:

$$I_{G_DRIVE} = 0,5 \times Q_{G-MAX} \times f_{SW}$$

В рассматриваемом примере преобразователь работает на частоте 260 кГц, а величина максимального заряда на затворе равна 41 нКл. Исходя из того, что длительность переднего фронта импульса при коммутации составляет 1% периода сигнала, для образования максимального заряда затвора 41 нКл средний ток во включённом состоянии MOSFET равен примерно 5,3 мА:

$$I_{G_DRIVE} = 0,5 \times 41 \text{ нКл} \times 260 \text{ кГц} = 5,3 \text{ мА.}$$

В сигнал бустрепного тока также входят импульсные помехи, возникающие при переключении тока MOSFET

величиной 1 А или больше. Поскольку их продолжительность не превышает 100 нс, а вклад в разогревание феррита минимальный, ими можно пренебречь.

Выбор феррита с максимальным сопротивлением на частоте звона

Ферритовые бусины для поверхностного монтажа серии WE-CBF от компании Würth Elektronik выпускаются с типоразмерами 0402–1812, а благодаря серийному производству у серии 0603 очень привлекательная цена. (Заметим, что в серии WE-TMSB имеются миниатюрные ферритовые бусины). Несмотря на свои малые размеры, даже компоненты серии 0603 с максимальным сопротивлением при 150 МГц могут работать со средним током 50 мА и тем более с управляющим током 5 мА, как в рассматриваемом примере.

На рисунках 6–9 сравнивается работа исходной схемы без элемента управления скоростью нарастания фронта со стандартным резистором 16,2 Ом, с ферритовой бусиной 74279265 (типоразмер: 0603; номи-

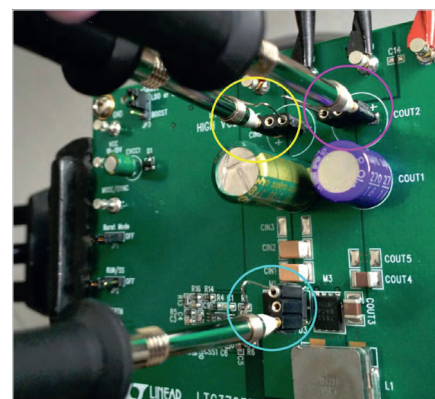


Рис. 4. Корректное измерение напряжения с малым уровнем шума (Жёлтым кружком обозначен вывод с входным напряжением, розовым – вывод с выходным напряжением, бирюзовым – коммутационный узел)

нальное сопротивление: 600 Ом при 150 МГц), а затем с ферритовой бусиной 742792693 (типоразмер: 0603; номинальное сопротивление: 2200 Ом при 100 МГц; на 150 МГц сопротивление равно примерно 1500 Ом).

Это устройство с максимальным сопротивлением на частоте звона позволяет наилучшим образом умень-

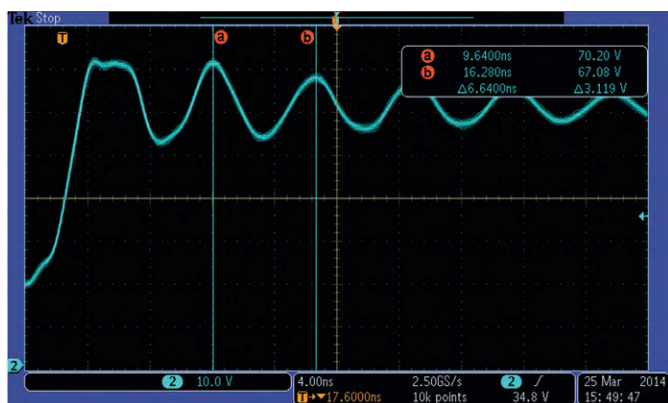


Рис. 5. Результаты измерения схемы без элементов управления скоростью нарастания фронта: период звона равен 6,64 нс, что соответствует частоте 150 МГц

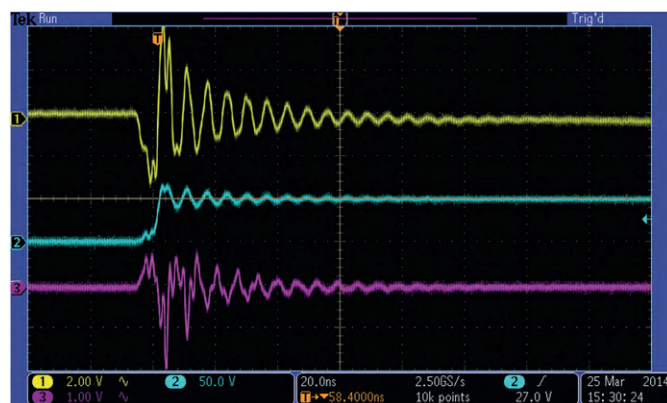


Рис. 6. Звон схемы демо-платы DC501A в отсутствие схемы по управлению скорости нарастания сигнала при: $V_{in} = 48 \text{ В}$; $V_{out} = 12 \text{ В}$; $I_{out} = 6,0 \text{ А}$; Кан.1 = V_{in} связан. по перем. току; Кан.2 – коммут. узел; Кан.3 = $V_{out} \text{ AC}$

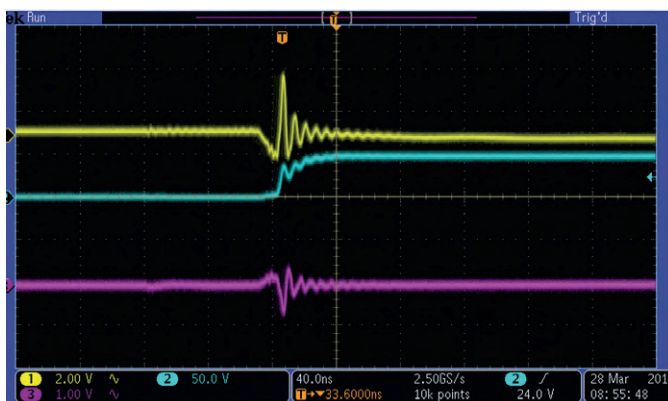


Рис. 7. Звон схемы демо-платы DC501A при использовании толстоплёночного резистора R2 величиной 16,2 Ом: $V_{in} = 48 \text{ В}$; $V_{out} = 12 \text{ В}$; $I_{out} = 6,0 \text{ А}$; Кан.1 = V_{in} связан. по перем. току; Кан.2 – коммут. узел; Кан.3 = $V_{out} \text{ AC}$

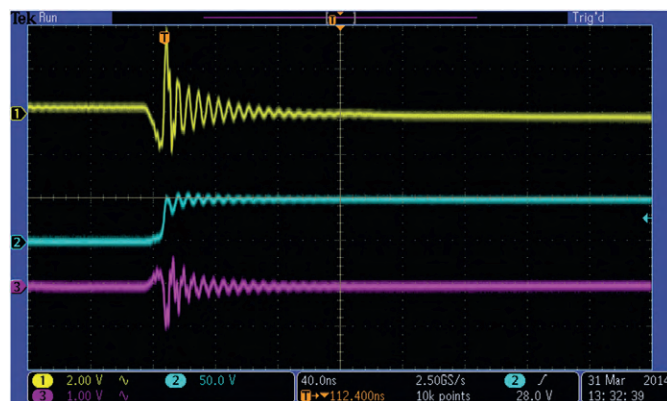


Рис. 8. Звон схемы демо-платы DC501A при использовании 600-Ом феррита 74279265 типоразмера 0603: $V_{in} = 48 \text{ В}$; $V_{out} = 12 \text{ В}$; $I_{out} = 6,0 \text{ А}$; Кан.1 = V_{in} связан. по перем. току; Кан.2 – коммут. узел; Кан.3 = $V_{out} \text{ AC}$

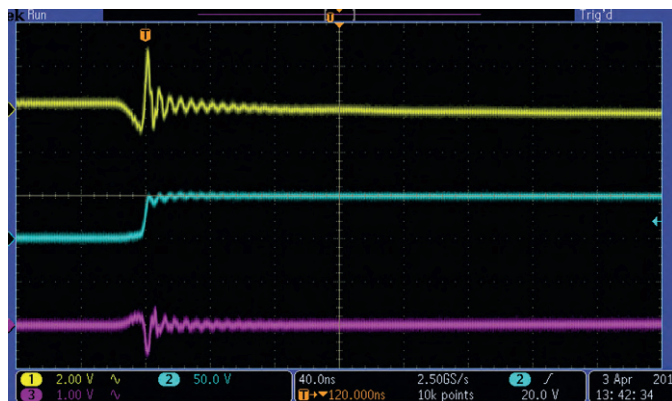


Рис. 9. Звон схемы демо-платы DC501A при использовании 2200-Ом феррита 74279263 типоразмера 0603: $V_{in} = 48$ В; $V_{out} = 12$ В; $I_{out} = 6,0$ А; Кан.1 = V_{in} связан. по перем. току; Кан.2 – коммут. узел; Кан.3 = V_{out} AC

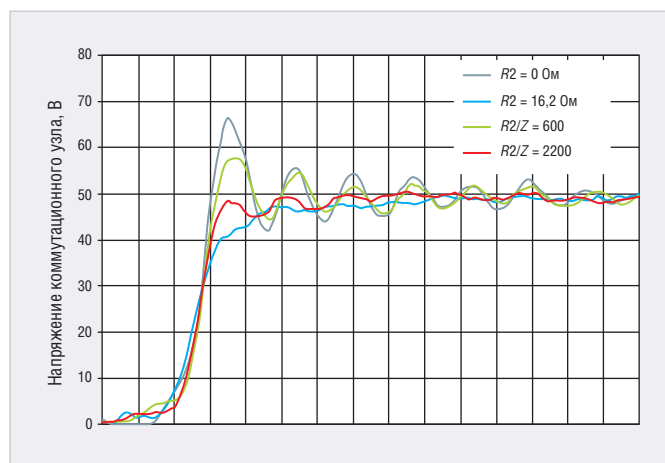


Рис. 10. Сравнение напряжений коммутационного узла

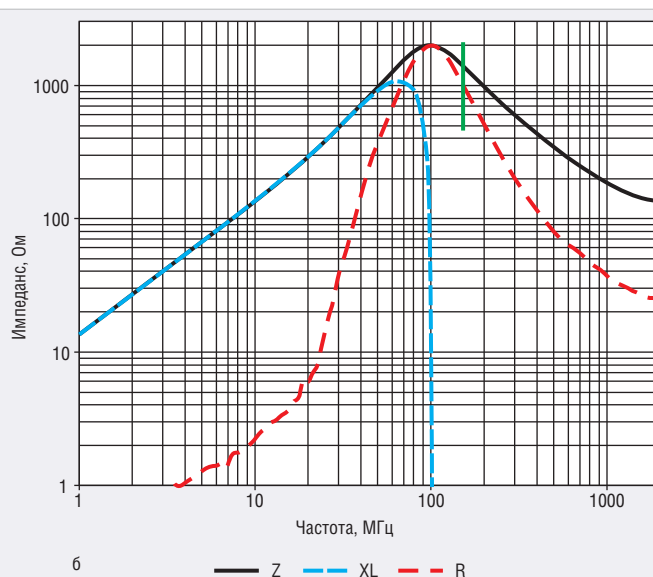
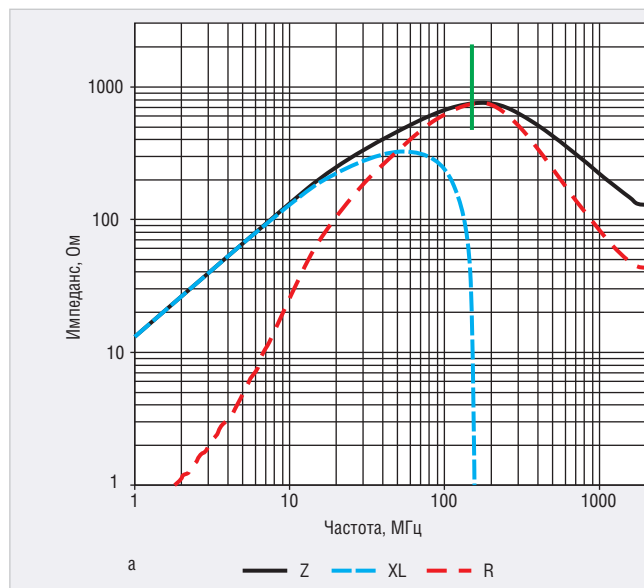


Рис. 11. Типовые частотные характеристики реактивного и активного сопротивлений, а также импеданса ферритовых бусин: а) 74279265 и б) 742792693

Таблица 1. Сравнение значений входного тока и КПД в зависимости от использования элементов управления крутизной сигнала

Резистор R2	Входной ток, мА	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, мА	КПД, %
Толстоплёночный шунт, 0 Ом	1600	48	12	6000	93,8
Толстоплёночный 16,2-Ом резистор 0603	1614	48	12	6000	92,9
0603, 600-Ом феррит 74279265	1609	48	12	6000	93,2
0603, 2200-Ом феррит 742792693	1612	48	12	6000	93,1

шить не только амплитуду, но и продолжительность нежелательных колебаний (см. рис. 10), а его выбор не представляет особого труда и осуществляется с помощью соответствующих технических описаний.

На рисунке 11 показаны типовые частотные характеристики реактивного сопротивления, активного сопротивления и импеданса ферритовых бусин 74279265 (600 Ом) и 742792693

(2200 Ом). На всякий случай напомним, что на количество тепла, образующегося за счёт преобразования высокочастотного сигнала, влияет активное (омическое) сопротивление.

Потери мощности и её рассеивание

При управлении крутизной сигнала достигается некий компромисс между уменьшением ЭМП и растущими поте-

рями. Замедление скорости нарастания сигнала при переключении MOSFET может привести к перегреву этого ключа, снижению общей эффективности до неприемлемого уровня.

В таблице 1 представлены значения входного тока и КПД рассматриваемой схемы без элемента управления крутизной сигнала, с подобранной величиной $R2 = 16,2$ Ом и с двумя ферритовыми бусинами.

Несмотря на то что для повышения электромагнитной совместимости потребовалось немного уменьшить КПД, применение феррита с номинальным сопротивлением 2200 Ом имеет небольшое преимущество по эффективности ограничения скорости нарастания и уменьшения звона по сравнению с использованием резистора.

АНАЛИЗ ИЗЛУЧАЕМЫХ ПОМЕХ

В этом разделе рассматривается соответствие излучаемых элек-

тромагнитных помех демо-платы DC501A стандарту EN 55022 по ЭМС для ИТ-оборудования.

На рисунках 12–15 представлены частотные развёртки излучаемых ЭМП демо-платы DC501A для рассматриваемых четырёх случаев: без ограничивающего элемента, с ограничивающим элементом R2, а также с использованием двух ферритовых бусин с разными сопротивлениями.

На рисунке 16 сравниваются все указанные развёртки, а в таблице 2 приводятся уровни излучаемых ЭМП в диапазоне 150 МГц в зависимости от используемых ограничивающих элементов.

В своей совокупности, развёртки излучаемых ЭМП подтверждают данные, взятые из частотной области: правильно подобранный резистор, установленный последовательно положительному выводу питания бутстрепной схемы, уменьшает квазипиковые и усреднённые уровни излучаемых помех примерно на 10 дБмкВ, а ферритовая бусина с максимальным сопротивлением на основной частоте шума работает не хуже, а часто и лучше этого резистора.

УПРАВЛЕНИЕ ВКЛЮЧЕНИЕМ И ВЫКЛЮЧЕНИЕМ В ДРАЙВЕРАХ ЗАТВОРА В НИЖНЕМ ПЛЕЧЕ

Управление скоростью нарастания фронтов импульсов осуществляется и с помощью выводов затвора других импульсных преобразователей. При этом необходимо учитывать положение ограничивающего элемента относительно затворов MOSFET и IGBT. К другим топологиям с ключами в верхнем плече относятся однотактный прямоходовой полумостовой и мостовой преобразователи. При их использовании необходимо устанавливать элемент управления затвором последовательно выводу положительного питания драйвера затвора с плавающей землёй. Однако в каждой из этих топологий применяется также, по крайней мере, один ключ нижнего плеча, а в повышающих, обратноходовых, прямоходовых и пушпульных преобразователях используются только ключи нижнего плеча. Как правило, нарастающий фронт сигналов требует управления, а продолжительность спадающего фронта должна быть как можно меньше. Относительно малое количество управляющих ИС оснащено специализированным выводом для управления положительного вывода источника

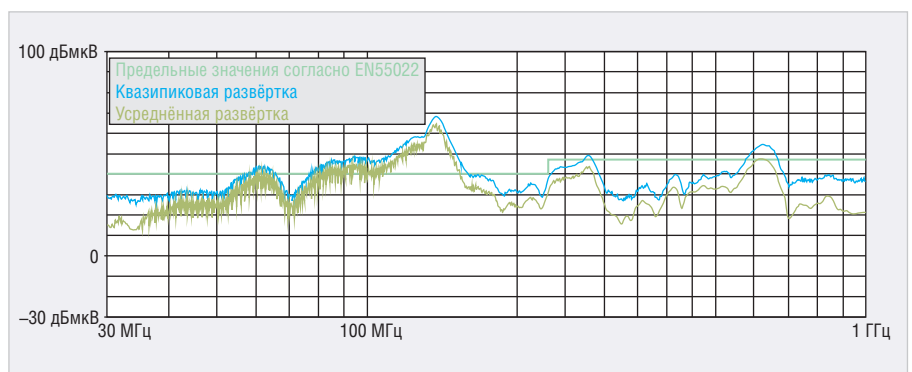


Рис. 12. Осциллограмма излучаемых ЭМП демо-платы DC501A без элемента управления крутизной сигнала: $V_{in} = 48$ В; $V_{out} = 12$ В; нагрузка = 2,0 Ом

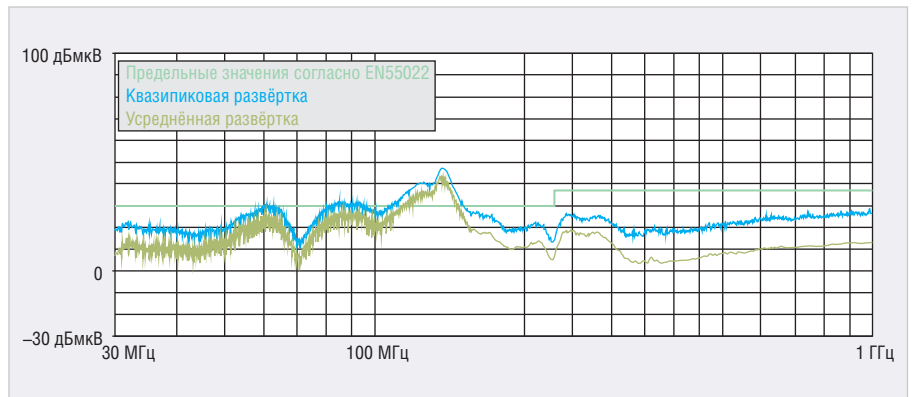


Рис. 13. Частотная развёртка излучаемых ЭМП демо-платы DC501A с $R2 = 16,2$ Ом: $V_{in} = 48$ В; $V_{out} = 12$ В; нагрузка = 2,0 Ом

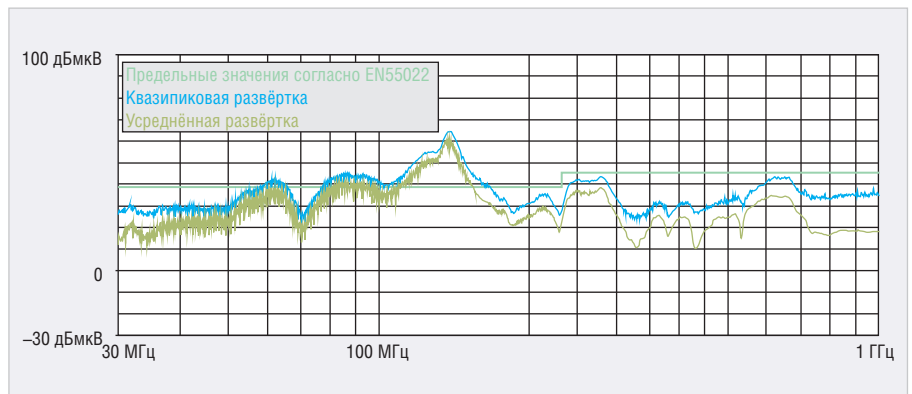


Рис. 14. Частотная развёртка излучаемых ЭМП демо-платы DC501A с $R2 = 600$ Ом и ферритом 0603: $V_{in} = 48$ В; $V_{out} = 12$ В; нагрузка = 2,0 Ом

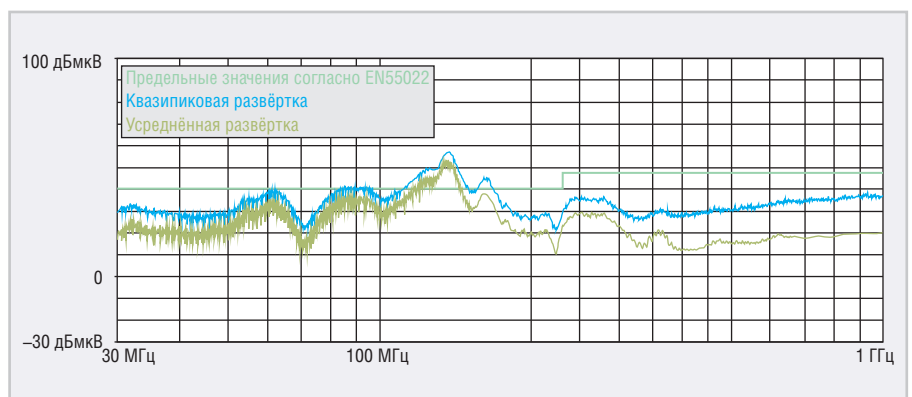


Рис. 15. Частотная развёртка излучаемых ЭМП демо-платы DC501A с $R2 = 2200$ Ом и ферритом 0603: $V_{in} = 48$ В; $V_{out} = 12$ В; нагрузка = 2,0 Ом

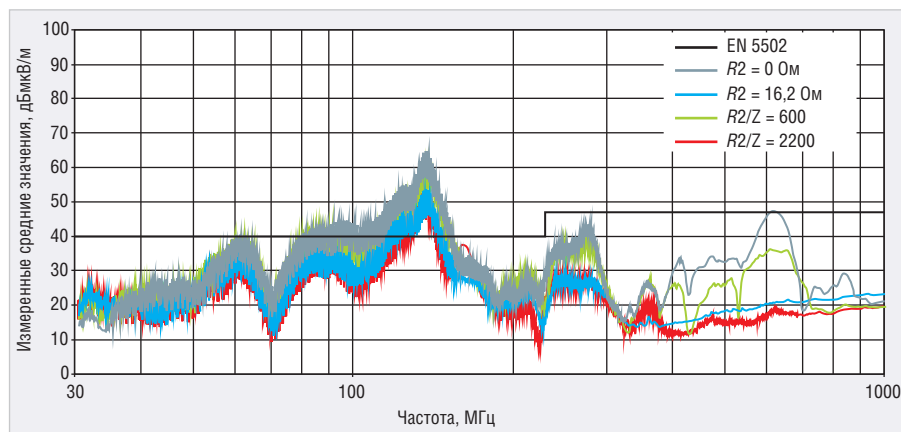


Рис. 16. Сравнение развёрток излучаемых ЭМП при использовании платы DC501A

Таблица 2. Уровни излучаемых ЭМП в диапазоне 150 МГц в зависимости от используемых элементов, ограничивающих скорость нарастания импульсов

	R2 = 0		R2 = 16,2 Ом		R2 = 600 Ом, феррит 0603		R2 = 2200 Ом, феррит 0603	
Частота, МГц	Квазипик., дБмкВ/м	Усредн., дБмкВ/м	Квазипик., дБмкВ/м	Усредн., дБмкВ/м	Квазипик., дБмкВ/м	Усредн., дБмкВ/м	Квазипик., дБмкВ/м	Усредн., дБмкВ/м
149,989	51,01	40,56	41,33	31,11	49,03	40,3	39,16	29,67
150,086	50,42	46,33	40,47	36,82	49,18	44,55	38,9	30,63
150,183	50,62	41,16	40,95	29,65	48,96	38,6	38,01	30,57

питания их драйверов ключей нижнего уровня, тогда как в большинстве случаев наилучшим решением является установка небольшого диода Шоттки параллельно элементу управления крутизной импульсов. При этом оба подключаются к затвору, как видно из рисунка 17.

Выводы

Ферритовые бусины, установленные последовательно бутстрепному выводу понижающего преобразователя, представляют собой эффективные компоненты по ограничению звона. Эти бусины ослабляют высокочастотный шум, не

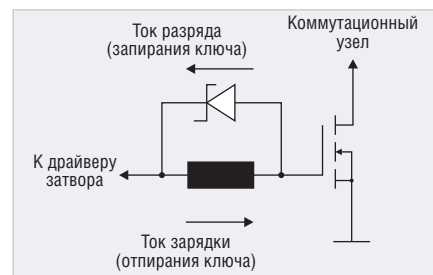


Рис. 17. Антипараллельный диод Шоттки обеспечивает управление включением, не оказывая влияния на выключение в цепях управления затвором ключей в нижнем плече

занимая большого места на печатных платах и не ухудшая эффективность решения. Их преимущества над резисторами заключается в простоте выбора и малом времени тестирования. Несколько более высокая стоимость феррита 0603 по сравнению с толстоплёночным резистором того же типоразмера компенсируется использованием более компактных, лёгких и недорогих фильтров на входах и выходах импульсных преобразователей. Снабберным схемам, установленным последовательно или параллельно коммутационным элементам, не приходится рассеивать достаточно большую мощность, что позволяет повысить эффективность, уменьшить рабочую температуру, стоимость решения и место, занимаемое на печатной плате. ☺

НОВОСТИ МИРА

Российская делегация станет рекордной по количеству участников на SEMICON EUROPA и PRODUCTRONICA 2019

С 12 по 15 ноября 2019 года в Мюнхене в одно время и на одной площадке пройдут крупнейшие международные выставки электроники и микроэлектроники, а также технологий, оборудования, материалов и компонентов для их производства.

В течение четырёх дней у всех желающих будет уникальная возможность встретиться с более чем 1200 компаниями со всего мира на 77 000 м² выставочного пространства.

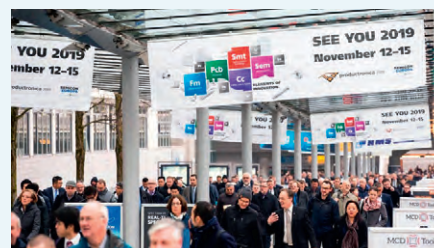
Российские предприятия регулярно посещают данные выставки, но в 2019 году ожидается рекордное количество участников как в качестве экспонентов, так и посетителей. Так, при поддержке Моспром, будет организован стенд компаний, ориентированных на экспорт своей продукции на зарубежные рынки.

Компания «Диполь» представит на своём стенде промышленную мебель VIKING и антистатическое оснащение VKG Tools.

Группа компаний Остек подготовила для своих клиентов насыщенную программу, включающую экскурсии по стендам и посещения предприятий Zestron, Audi, EV Group, Christian Koenen GmbH, институт Fraunhofer, ESK, B2B, встречи, осмотр достопримечательностей в окрестностях Мюнхена. Подробная информация на сайте <https://productronica2019.ru/>.

Группа компаний «Глобал Инжиниринг» в дополнение к основной деловой программе выставки Productronica для своих клиентов организует визит на завод ASM Assembly Systems, который был удостоен международной награды «Factory of the year 2018» («Фабрика года 2018»), а также ASM Center of Competence (Центр компетенций компании ASM). Подробная информация: <https://event.global-smt.ru/productronica2019>.

Команда SEMIEXPO Russia 12 ноября в рамках SEMICON EUROPA в TechArena 1 представит уникальную деловую программу, которая ориентирована на развитие международной кооперации с Россией и представляет проекты цифровой трансформации.



Команда Industry Hunter в рамках развития своей B2B интернет-платформы промышленных компаний проведёт ряд переговоров с европейскими производителями оборудования, материалов, поставщиками промышленных услуг. А также соберёт информацию по главным новинкам PRODUCTRONICA и SEMICON EUROPA. Подробная информация будет опубликована на сайте: <https://industry-hunter.com>.

Опрос компаний показал, что основная цель посещения выставок SEMICON EUROPA и PRODUCTRONICA в Германии – это переговоры с партнёрами, поиск новых решений, а также изменения в условиях поставок.

Пресс-служба industry-hunter.com



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

2019

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

НОВОСТИ МИРА

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПОВЫШАЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Прогрессивное развитие цифровизации играет всё более важную роль в сельском хозяйстве: интеллектуальное и целевое применение удобрений и продуктов для защиты культур, датчики для анализа почв и автономная работа – вот лишь некоторые вопросы, которые обсуждаются в рамках концепций Сельское хозяйство 4.0 и Интеллектуальное сельское хозяйство.

Потенциал цифрового сельского хозяйства – это тема конференции «Актуальные тренды в сельском хозяйстве и пищевой промышленности» (Farming and Food Technology Trends), организованной 25 сентября 2019 года в городе Билефельд компанией itelligence AG при участии компаний Technische Hochschule OWL, HARTING и других партнёров. Technology Group представила решения для эффективного использования пахотных земель на базе архитектуры HARTING MICA®.

«Благодаря акцентированному подходу с рациональным использованием ресурсов, Интеллектуальное сельское хозяйство способствует

росту производительности и повышению экологичности», – комментирует Д-р Ян Регтмиер (Jan Regtmeier), директор по управлению продукцией HARTING IT Software Development. В Билефельде компания HARTING демонстрирует применение системы HARTING MICA® и её преимущества. Периферийный компьютер согласованно управляет процессами и процедурами, а также регистрирует все необходимые данные.

Два прикладных сценария демонстрируют, как MICA® осуществляет сбор данных. В первом сценарии HARTING MICA® сохраняет данные, полученные от двух комплектов весов, которые предназначены для взвешивания тракторов и фургонов с целью определения веса собранной кукурузы. Кроме того, трактору назначается уникальный идентификатор, который соответствует отдельному участку поля. Далее выполняется обработка сохраненных данных и их отправка в облачную систему для дальнейшего анализа.

Во втором сценарии MICA сохраняет данные для критического процесса дробления. Затем эти данные используются для оптимизации процесса с применением анализа данных.

«Внедрение информационных технологий в сельском хозяйстве уже сейчас обеспе-



чивает производство экологичных пищевых продуктов, и так будет продолжаться в будущем», – поясняет Дриес Гут (Dries Guth), руководитель по направлению «Инновации» и директор лаборатории в области инноваций для IoT в компании itelligence. Данные, полученные от датчиков, сельскохозяйственного оборудования и со спутниковых снимков, передаются в интеллектуальные системы, которые позволяют не только оптимизировать производительность, но и обеспечивают экономию ресурсов: расхода воды и продуктов для защиты культур. «Наши решения также позволяют развивать новые способы производства пищевых продуктов. Примером может служить успешное развитие городского сельского хозяйства и вертикального фермерства», – добавляет Гут.

Пресс-релиз HARTING



YOUR EXPERT SERVICES PROVIDER IN CHINA

НАШ ГЛОБАЛЬНЫЙ ОТВЕТ ВАШИМ ПОТРЕБНОСТЯМ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЯХ

ЭКСПЕРТЫ К ВАШИМ УСЛУГАМ!



ЦЕНА

Лучшее соотношение цена -качество для ваших нужд. Наш глобальный объем закупок даёт возможность предложить вам конкурентные цены.



СКОРОСТЬ

Доставка к вашей двери всего за 5 дней! Два онлайн магазина работают без перерывов и выходных. 98% поставок вовремя.



КАЧЕСТВО

Член МПК и сертификат ISO 9001:2015. Наши поставщики: ISO 14001, ISO TS 16949, ISO 13485 и AS9100.

Реклама

ООО "АЙКЕЙП РУС"
115035, г. Москва,
ул. Садовническая набережная, 71

www.icape-group.com
www.icapeshop.com
www.cipemshop.com

+7 495 668 11 33
order@icaperussia.com



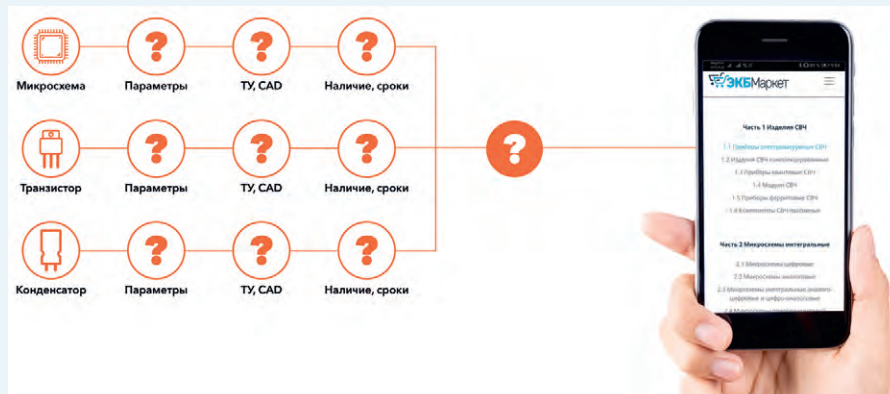
НОВОСТИ МИРА

«ЭКБ МАРКЕТ» год спустя...

Год назад на конференции Департамента РЭП был открыт доступ к торгово-информационной площадке «ЭКБ МАРКЕТ», которая была создана для устранения барьера, связанного с информационным обеспечением отрасли и разработчиков аппаратуры.

Цель площадки – уравнивать информационную доступность по ЭКБ ОП с импортной ЭКБ и помочь прибористам в поиске и принятии решения о том, какой компонент использовать в том или ином схемотехническом решении. В первую очередь, сделать доступными те данные, которые для разработчиков аппаратуры являются самыми востребованными.

На старте проекта о нём звучали разные мнения и прогнозы, иногда скептические, но спустя год площадка активно функционирует и развивает свои сервисы. Для разработчиков она стала рабочим инструментом, который предоставляет удобный и простой доступ к базе отечественных компонентов, упрощает заказ партий любого объёма, помогает сократить сроки поставки, упрощает поиск и параметрическое сравнение компонентов по ключевым техническим харак-



теристикам. Специалистам отечественной радиоэлектронной промышленности доступны технические характеристики более 250 000 типонаименований компонентов, обеспечен доступ к листам справочных данных и цифровых моделей ЭКБ ОП для пользователей, авторизованных ФГУП «МНИИРИП». Площадка стала первым работающим инструментом в части поиска и сравнения не только ЭКБ ОП из Перечня разрешённых к применению, но и изделий с приёмкой ОТК, а также сопутствующей продукции (контактирующие устройства, системы охлаждения, материалы и т.п.).

Перед коллективом, создавшим и регулярно обновляющим площадку «ЭКБ МАРКЕТ», стоят новые важные задачи по её развитию и наполнению. Проект находится в постоянном поиске новых пользователей и доступных материалов, которые могут повысить уровень и качество имеющейся информации. Это могут быть и схемные решения с применением ЭКБ ОП, и инициативно разработанные модели для САПР, и условно-графические обозначения, и тестовые решения для испытаний.

Расскажите о площадке вашим коллегам и партнёрам, пригласите их зарегистрироваться на сайте www.ecbmarket.ru/

Fastwel

Российская электроника
для ответственных
применений

Скорость и надежность
современных технологий

CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial



CPC512



CPC514



CPC516



CPC518



ProSoft®
WWW.PROSOFT.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

МОСКВА
(495) 234-0636
info@prosoft.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
(812) 448-0444
info@spb.prosoft.ru

ЕКАТЕРИНБУРГ
(343) 356-5111
info@prosoftsystems.ru
(912) 620-8050
ekaterinburg@regionprof.ru



РКМ0348

Модуль радиосвязи HC-12

Олег Вальпа (sandh@narod.ru)

Задача организации беспроводной связи между устройствами становится особенно актуальной с развитием технологий Интернета вещей. В статье приводится краткое описание недорогого модуля радиосвязи, выполняющего функцию беспроводного удлинителя интерфейса UART для любых микропроцессорных устройств, и рассказывается об особенностях его применения.

Введение

Довольно часто во многих сферах человеческой деятельности возникает необходимость осуществления беспроводной связи между объектами. Очевидно, что в данном случае предпочтительными являются надёжные, малогабаритные и недорогие устройства. Одним из приборов, удовлетворяющим таким требованиям, является миниатюрный модуль радиосвязи HC-12 [1], который доступен во многих интернет-магазинах и стоит около \$3. Его популярность особенно возрастает в эпоху развития Интернета вещей. Разработчики предлагают следующие сферы применения данного модуля:

- телеметрия и дистанционное управление в промышленности;
- автоматический дистанционный сбор данных;
- беспроводное управление роботами;
- беспроводные датчики;
- системы входа без ключа;
- устройства для охраны и безопасности;
- беспроводные компьютерные сети и т.п.

Данный список можно продолжать и далее: области применения модуля ограничены лишь фантазией радиолюбителей и инженеров.

Описание модуля

Модуль HC-12 выполняет функцию беспроводного удлинителя интерфейса

са UART, не внося при этом никакой дополнительной информации в тракт передачи. Для наглядного представления функционального предназначения устройства на рисунке 1 приведены структурные схемы организации проводной и беспроводной связи. На рисунке 2 показан пример организации беспроводной радиосвязи между двумя контроллерами Arduino.

Модуль HC-12 позволяет обеспечить двустороннюю радиосвязь между двумя устройствами поочередно, т.е. в режиме полудуплексной связи. Кроме того, можно организовать поочередную связь между одним ведущим модулем и несколькими ведомыми на одном частотном канале. В связи с наличием в модуле HC-12 большого числа каналов можно организовать беспроводную связь для множества групп парных устройств, которые не будут мешать друг другу благодаря разнесению их каналов связи по частоте.

Технические характеристики беспроводного модуля HC-12:

- диапазон рабочих частот – 433,4...473,0 МГц;
- тип антенны – внешний;
- максимальная чувствительность приёмника – 124 дБм;
- максимальная мощность передатчика – 100 мВт (20 дБм);

- максимальная дальность передачи информации – 1000...1800 м на открытом пространстве в зависимости от режима работы;
- количество рабочих режимов – 4;
- количество уровней мощности – 8;
- количество каналов передачи данных – 100;
- тип встроенного микроконтроллера управления – STM8S003F3;
- интерфейс для связи с внешними устройствами – UART;
- напряжение питания – 3,2...5,5 В;
- потребляемый ток – 3,6...16 мА в зависимости от режима работы;
- максимальное потребление тока – не более 100 мА при передаче данных;
- потребление тока в ждущем режиме – 80 мкА;
- способ настройки модуля – AT-команды.

Заводские параметры модуля HC-12 имеют следующие значения:

- интерфейс UART: скорость – 9600 бод, информационных бит – 8, стоп-бит – 1, контроль чётности – отключён;
- номер канала – 001 на частоте 433,4 МГц;
- мощность передачи – 100 мВт.

По сравнению с беспроводными Bluetooth-устройствами модуль связи HC-12 имеет следующие преимущества: больший радиус связи, малое потребление тока, низкая стоимость, возможность использования внешней антенны.

Конструкция модуля

Конструктивно модуль HC-12 представляет собой печатную плату с установленными с двух сторон элементами. Внешний вид модуля с обеих сторон показан на рисунке 3. По краям платы имеются контактные отверстия диаме-

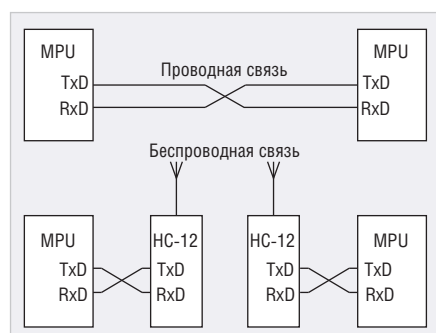


Рис. 1. Организация проводной и беспроводной связи

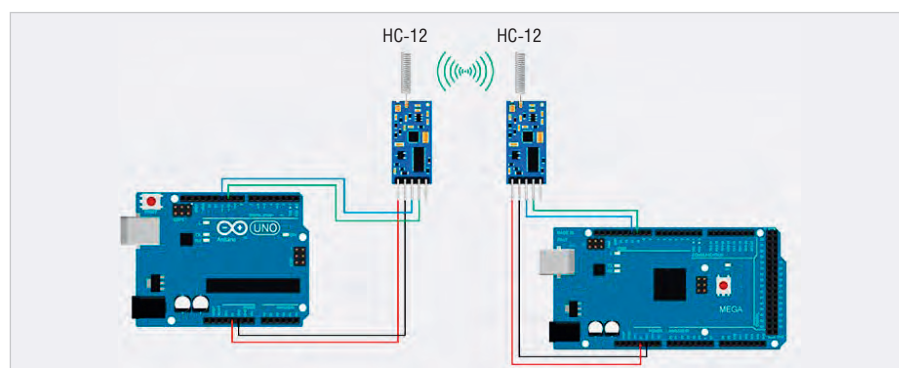


Рис. 2. Организация связи между двумя контроллерами Arduino

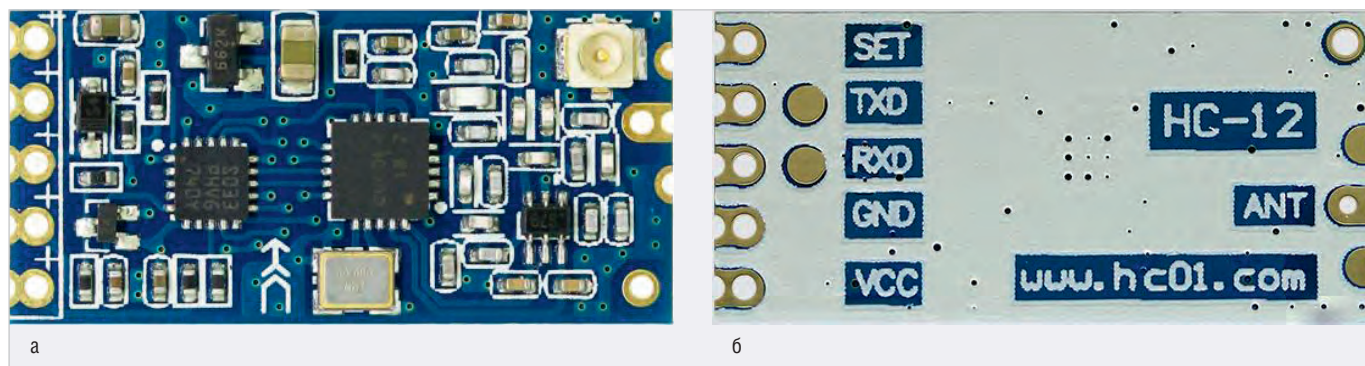


Рис. 3. Модуль радиосвязи HC-12: а) вид сверху; б) вид снизу

тром 1 мм для подключения основных цепей модуля, поддерживающие установку соединителя типа PLS. Нумерация всех выводов модуля и его основные размеры представлены на рисунке 4. Назначение всех выводов модуля приведено в таблице 1. Антенна может подключаться к модулю HC-12 двумя способами:

- к контакту ANT1 через разъём типа IPREX20279-001E-03;
- пайкой витого отрезка провода к контакту ANT2.

Вывод SET необходим для установки параметров модуля при помощи AT-команд. Этот вывод на плате модуля подключён через резистор 10 кОм к плюсу источника питания. Для чтения или изменения параметров модуля необходимо на время данной операции соединить вывод SET с общим выводом.

Модуль HC-12 построен на базе микросхемы приёмопередатчика (трансивера) SI4463 в корпусе QFN-20. Задающим генератором этой микросхемы служит кварцевый резонатор на 30 МГц. Микросхема трансивера SI4463 обеспечивает двунаправленную радиосвязь и имеет интерфейс связи SPI, с помощью которого она обменивается данными с управляющим микроконтроллером STM8S003F3 [2]. Схема подключения трансивера к управляющему микроконтроллеру показана на рисунке 5.

Управляющий микроконтроллер STM8S003F3 осуществляет преобразование интерфейсов. Он получает извне команды и данные по интерфейсу UART, преобразует и транслирует их в трансивер SI4463 через интерфейс SPI, а принятые трансивером по радиоканалу данные транслирует обратно через UART. Таким образом осуществляются передача и приём данных по радиоканалу через интерфейс UART. Управляющий микроконтроллер STM8S003F3

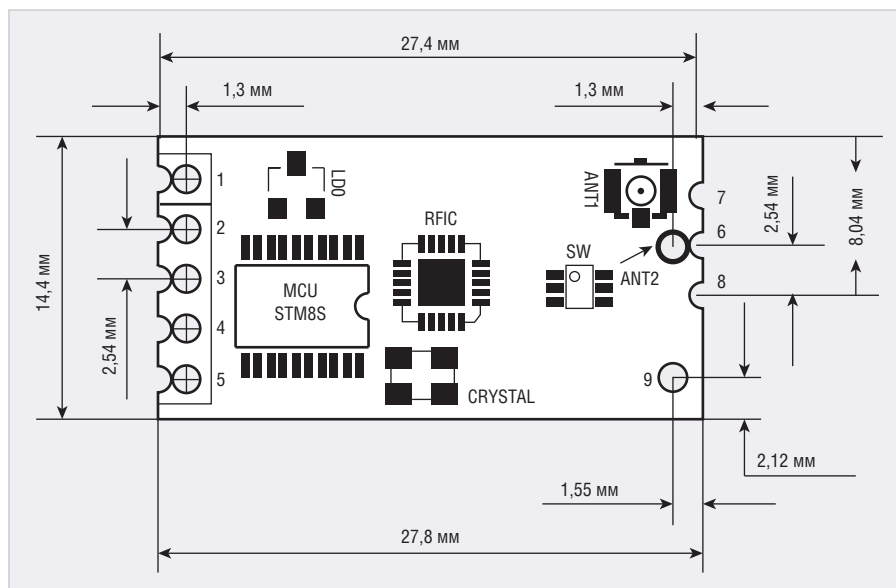


Рис. 4. Нумерация выводов и размеры модуля

Таблица 1. Назначение выводов модуля HC-12

Контакт	Обозначение	Тип вывода	Назначение
1	VCC	Вход питания	Напряжение питания от 3,2 до 5,5 В
2	GND	Общий вывод	Общий
3	RXD	Вход	Вход приёмника UART
4	TXD	Выход	Выход передатчика UART
5	SET	Вход	Вход установки параметров
6	ANT2	Вход-выход	Соединитель антенны типа 2
7	GND	Общий вывод	Общий
8	GND	Общий вывод	Общий
9	NC	Не подключён	Не используется
ANT	ANT1	Вход-выход	Соединитель антенны типа 1

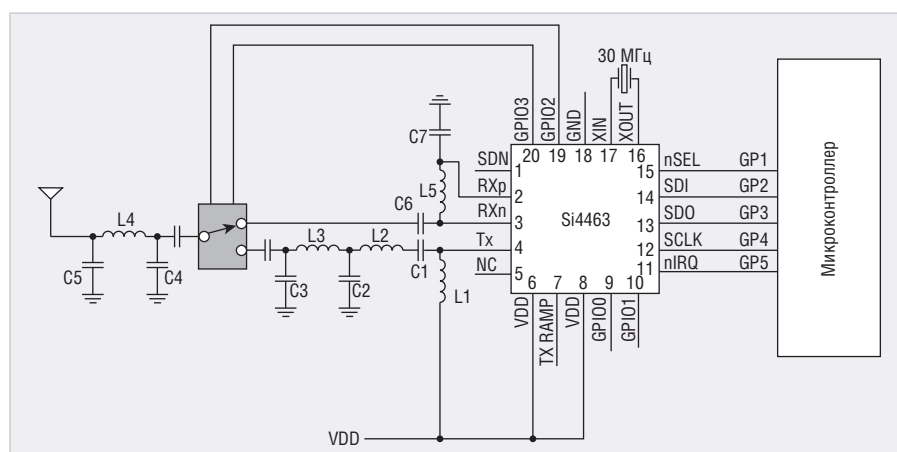


Рис. 5. Схема подключения трансивера к микроконтроллеру

Таблица 2. Перечень AT-команд

Команда	Ответ	Описание
AT	OK или ERROR	Тестовая команда
AT+Bn	OK+Bn	Команда изменения скорости передачи данных в бодах, где <i>n</i> может принимать следующие значения: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, и 115200
AT+Cn	OK+Cn	Команда изменения номера канала связи, где <i>n</i> может принимать значения от 1 до 127. Шаг частоты канала 400 кГц. При больших расстояниях и скоростях передачи более 9600 бод с целью повышения устойчивости связи рекомендуется не использовать частоты пяти соседних каналов относительно установленного
AT+FU1	OK+FU1	Команда выбора режима работы FU1. Это режим сохранения энергии с потребляемым током 3,6 мА
AT+FU2	OK+FU2	Команда выбора режима работы FU2. Это экстремальный режим сохранения энергии с потребляемым током 80 мкА
AT+FU3	OK+FU3	Команда выбора режима работы FU3. Это режим полной скорости с потребляемым током 16 мА
AT+FU4	OK+FU4	Команда выбора режима работы FU4. Это режим обеспечения максимальной дальности с потребляемым током 16 мА на скорости 1200 бод с количеством информации не более 60 байт. Для предотвращения потери данных рекомендуется использовать интервал передачи пакетов = 2 с
AT+Pn	OK+Pn	Команда выбора передающей мощности, где <i>n</i> может принимать значения от 1 до 8, соответствующие мощности передатчика –1, 2, 5, 8, 11, 14, 17 и 20 дБм
AT+RB	OK+B9600	Запрос параметра скорости UART модуля
AT+RC	OK+RC001	Запрос параметра канала радиопередачи модуля
AT+RP	OK+RP:+20дБм	Запрос параметра мощности радиопередачи модуля
AT+RF	OK+FU3	Запрос параметра режима работы модуля
AT+RX	OK+B9600 OK+RC001 OK+RP:+20дБм OK+FU3	Запрос всех параметров модуля: скорости UART, канала радиопередачи, мощности радиопередачи и режима работы
AT+Uxyz	AT+Uxyz	Команда установки параметров интерфейса UART, где <i>x</i> – количество информационных бит от 1 до 9; <i>y</i> – бит чётности данных: <i>N</i> – отсутствует, <i>O</i> – нечётный, <i>E</i> – чётный; <i>z</i> – длительность стоп-бита: 1 – 1 битовый интервал, 2 – 2 битовых интервала, 3 – 1,5 битовых интервала
AT+V	www.hc01.com HC-12_V2.4	Запрос информации о производителе, модели и версии программного обеспечения модуля
AT+SLEEP	OK+SLEEP	Команда переключения модуля в спящий режим с током потребления 22 мкА. Для вывода модуля из спящего режима необходимо послать любую другую AT-команду
AT+DEFAULT	OK+DEFAULT	Установка заводских параметров и настроек модуля

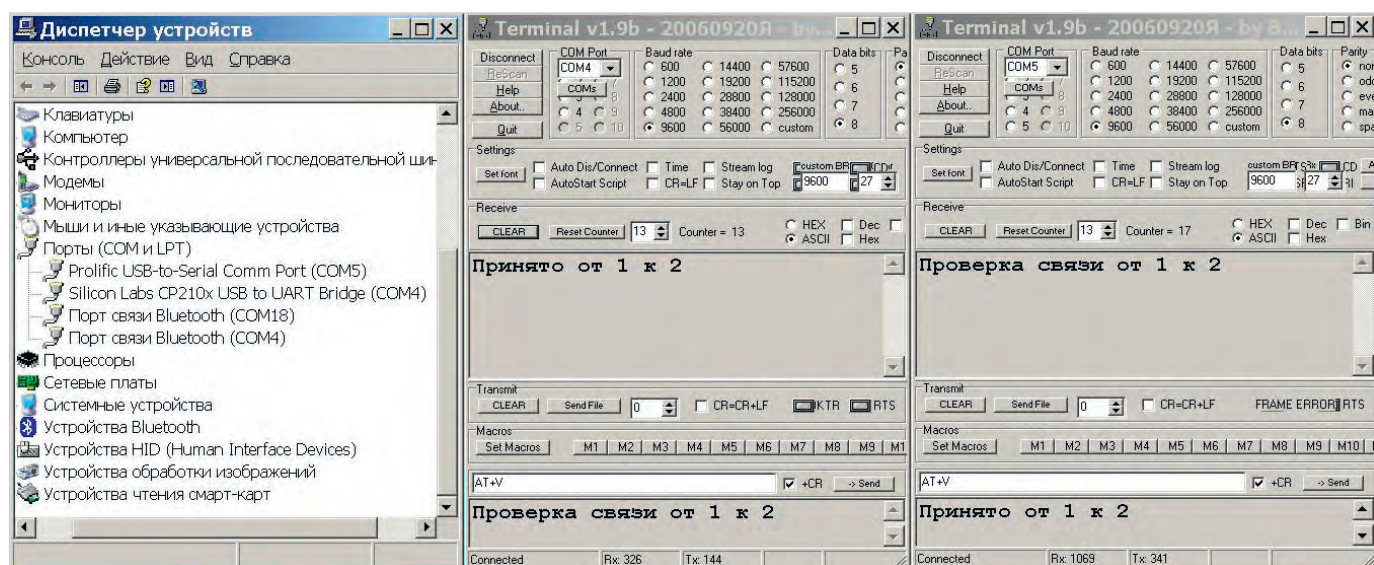


Рис. 6. Окна тестирования модулей связи HC-12

позволяет упростить взаимодействие с трансивером SI4463, выполняя все операции по преобразованию данных и управлению трансивером, в результате чего становится возможным управление модулем HC-12 посредством простых AT-команд через интерфейс UART.

ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ AT-команды

Для установки параметров модуля используется небольшой набор AT-команд, перечень которых приведён в таблице 2. Все AT-команды должны заканчиваться специальным символом возврата каретки, имеющим шестнадцатеричный код 0x0D. Ответные сообще-

ния модуля имеют в конце два символа: возврат каретки 0x0D и перевод строки 0x0A. В большинстве языков программирования эти символы записываются как `\r` и `\n` соответственно. Данный факт следует учитывать при создании программ управления модулем и автоматического распознавания его ответов.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЕЙ

Для подключения модуля HC-12 к компьютеру используется стандартный преобразователь интерфейсов USB-UART. После подачи питания модуль начинает работать с заданными параметрами. При разработке схем с при-

менением модулей HC-12 необходимо учитывать следующие факторы:

- не рекомендуется нагружать сигнал TXD UART светодиодом, т.к. это может привести к ошибкам передачи данных;
- при динамической смене параметров модуля после подключения вывода SET к нулевому потенциалу необходимо сделать паузу длительностью не менее 40 мс перед тем как посылать AT-команды;
- после отключения вывода SET от нулевого потенциала и перед тем как начать передачу данных, необходимо подождать не менее 80 мс;
- пиковый ток модуля составляет 100 мА, поэтому при выборе источ-

ника питания рекомендуется применять электролитические конденсаторы по питанию ёмкостью не менее 100 мкФ;

- после выхода из режима команд модуль должен находиться в состоянии покоя не менее 200 мс, прежде чем снова войти в режим АТ-команд.

ТЕСТИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ

Проверку работоспособности модулей НС-12 можно осуществить с помощью одного компьютера и двух преобразователей интерфейсов USB-UART. Модули необходимо подключить с помощью преобразователей интерфей-

сов USB-UART к компьютеру. При таком подключении в диспетчере устройств компьютера должны появиться два новых устройства в группе COM-портов. Номера этих портов нужно знать для открытия портов в двух терминальных программах. При исправных модулях НС-12 вводимая в окне первой терминальной программы информация должна отображаться в окне второй программы и наоборот. Корректное отображение вводимых данных в окнах программ свидетельствует об установленной двусторонней радиосвязи между COM-портами. На рисунке 6 показано окно диспетчера устройств компью-

тера и окна терминальных программ для тестирования модулей связи НС-12.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, следует отметить, что благодаря малым габаритам, низкому энергопотреблению, небольшой стоимости и широкой доступности модуль радиосвязи НС-12 может успешно применяться во многих проектах для организации беспроводной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.hc01.com
2. www.st.com



НОВОСТИ МИРА

РАЗРАБОТКА «РОСЭЛЕКТРОНИКИ» ПОЗВОЛИТ ОБНАРУЖИТЬ ДЕФЕКТЫ В ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех ввёл в эксплуатацию ускоритель электронов для радиационной дефектоскопии атомно-энергетического оборудования. Формируя качественное изображение

с высоким пространственным разрешением, разработка позволяет методом неразрушающего контроля обнаруживать в металле различные скрытые дефекты.

В качестве источника ионизирующего излучения в дефектоскопе используется ускоритель электронов, разработанный НПП «Торий» (входит в «Росэлектронику») совместно с Лабораторией электронных ускорителей МГУ. Оборуд-

дование отличается от аналогов возможностью настройки оптимальных параметров излучения в зависимости от характеристик контролируемого объекта. Работа аппаратуры контролируется оператором с помощью панели управления, а диагностика неисправностей может осуществляться по линиям связи дистанционно.

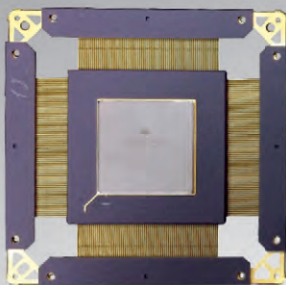
*Пресс-служба холдинга
«Росэлектроника»*



АО «ВЗПП-С»

Тел/Факс: (473) 223-69-51
e-mail: market@vzpp-s.ru
www.vzpp-s.ru

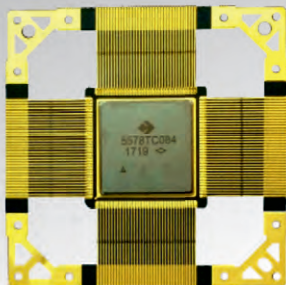
Программируемые логические интегральные схемы



ПЛИС 5578TC094

ТУ-АЕНВ.431260.423ТУ
Функц. зарубежный аналог:
EP3C25 ф. Altera
Ёмкость, сист. вентилях 1200 000
Количество эквивалентных логических элементов 24 624
Напряжение пит. ядра $1,2 \pm 0,05$ В
Напряжение пит. периф. $2,5 \pm 5\%$
4 блока ФАПЧ

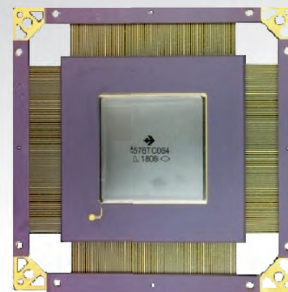
Корпус МК 4251.304-2



ПЛИС 5578TC084

ТУ-АЕНВ.431260.422ТУ
Функц. зарубежный аналог:
EP3C16 ф. Altera
Ёмкость, сист. вентилях 800 000
Количество эквивалентных логических элементов 15 408
Напряжение пит. ядра $1,2 \pm 0,05$ В
Напряжение пит. периф. $2,5 \pm 5\%$
4 блока ФАПЧ

Корпус МК 4248.144-1



ПЛИС 5578TC064

ТУ-АЕНВ.431260.402ТУ
Функц. зарубежный аналог:
EP3C55 ф. Altera
Ёмкость, сист. вентилях 3 000 000
Количество эквивалентных логических элементов 55 856
Напряжение пит. ядра $1,2 \pm 0,05$ В
Напряжение пит. периф. $2,5 \pm 5\%$
Интерфейс LVDS
4 блока ФАПЧ

Корпус МК 4254.352-1

Реклама

Световоды MENTOR GmbH & Co. Präzisions-Bauteile KG: от стандартных компонентов до систем освещения

Ольга Романовская (romanovskaya@prochip.ru)

Компания MENTOR, производитель электромеханических компонентов и промышленных ручек, уже не одно десятилетие занимает лидирующие позиции в мире по выпуску высококачественных световодов и систем освещения. В статье представлен обзор широкой линейки световодов, выделены особенности каждой серии, а также представлены проекты с применением компонентов MENTOR – от промышленных устройств до самых необычных решений.

В 2020 году компании MENTOR GmbH & Co. Präzisions-Bauteile KG исполнилось 100 лет. На протяжении века она сумела сохранить традиционность и преемственность управления и до сих пор является экономически независимым семейным предприятием. Основной принцип корпоративной политики MENTOR – выстраивание долгосрочных отношений с поставщиками, заказчиками, структурными подразделениями и сотрудниками компании. Первостепенное значение при реализации проектов имеют окружающая среда и безопасность. Это относится и к самим продуктам, и к используемым вспомогательным и рабочим материалам, и к требуемым процессам, вплоть до упаковки. Применение химических веществ с ограниченным использованием осуществляется с соблюдением соответствующих национальных и международных законов и директив, таких как REACH и ROHS.

К линейке оптоэлектронных компонентов, выпускаемых MENTOR, относятся светодиодные индикаторы, держатели светодиодов, линзы и отражатели, корпусированные светодиоды и кольца подсветки. Световоды являются отдельным самостоятельным направ-

лением и включают в себя 7 основных больших серий с множеством подкатегорий и возможностью доработки существующих элементов или изготовления нового продукта под заказ.

Световод MENTOR – это эффективная, точно спроектированная оптика, предназначенная для переноса света от светодиода, установленного на печатной плате, в удалённую зону излучения с минимальной потерей яркости и без потери света между соседними элементами. На рисунке 1 представлена подсветка автомата для горячих напитков.

Изготовление световодов происходит в 5 этапов:

1. *Концепция.* В тесном сотрудничестве с клиентами разрабатываются фундаментальные концепции и определяются точные требования к дизайну. Выбираются наиболее подходящие светодиодные источники света, определяются оптические концепции; пристальное внимание уделяется надлежащему управлению энергией и температурой.
2. *Разработка.* На этом этапе определяются конкретные параметры компонента: отражающий или преломляющий оптический дизайн, конструкция источника света, CAD-дизайн и т.д.

3. *Визуализация.* Для точного моделирования ожидаемого светового эффекта готового компонента используется современное программное обеспечение (SPEOS CAA, Zemax и Lucid-Shape), а для изготовления опытных образцов применяются методы быстрого прототипирования, что позволяет проводить раннюю оценку и утверждение концепции проекта.

4. *Изготовление инструментов.* На собственных инструментальных заводах разрабатываются и производятся литьевые формы. Пресс-формы для сложной высокоточной оптики подвергаются обработке с использованием сверхточных станков.

5. *Производство.* MENTOR предлагает комплексные световые решения, которые начинаются с одно- или многокомпонентного литья под давлением и включают в себя такие доработки, как отражатели и другие неоптические компоненты. Решения дополняются сборкой, упаковкой и доставкой комплектных модулей. Качество готового продукта проверяется в собственных лабораториях компании MENTOR, оснащённых камерами яркости, спектрорадиометрами, люксметрами и шаром Ульбрихта диаметром 500 мм.

Ассортимент стандартных световодов MENTOR включает в себя сотни изделий, многие из которых можно приобрести небольшими партиями в короткие сроки.

Классификация световодов по типам представлена в таблице.



Рис. 1. Подсветка автомата для горячих напитков



Рис. 2. Нестандартные световоды серии M-Cuts

Помимо стандартных компонентов из базовой линейки поставки, компания MENTOR предлагает изготовление световодов под заказ с разумными минимальной партией и затратами на разработку. Зачастую минимальная партия изделий не превышает полуторной потребности небольшого производства. На рисунке 2 представлены некоторые нестандартные световоды серии M-Cuts.

Основываясь на опыте, проектировщики MENTOR понимают, что наиболее частой проблемой является подгонка длины световода. В таких случаях предлагается изготовление изделия нужной длины даже при отсутствии необходимого значения в каталоге. Интеллектуальная настройка инструментов в производственном цикле позволяет выпускать такие решения с минимальными затратами на переоснастку, а также небольшими партиями.

Кроме того, компания MENTOR предлагает реализацию индивидуальных решений под заказ: световоды необычных геометрических форм с разными гранями, призмами или отражающим покрытием, рассчитанными до мель-

Классификация световодов MENTOR

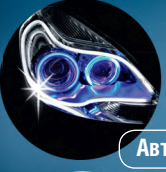
Тип	Категории	Описание
На лицевую панель	- для монтажа на лицевой стороне устройства с круглым или квадратным излучающим торцом; - для монтажа на лицевой стороне с защитой от влаги IP68; - для монтажа на задней стороне панели, одиночные или цепочки световодов	Применяются, когда нет возможности закрепить световод на плате. Световод крепится в отверстие панели и располагается над SMD-светодиодом, не касаясь его
Горизонтальные	- с круглым торцом; - с квадратным торцом; - с прямоугольным торцом; - одиночные или цепочки световодов; - световоды в несколько рядов (матрицы)	Используются, когда излучающая поверхность на передней панели должна располагаться под прямым углом к печатной плате. Как правило, крепятся к плате с помощью запрессованных выступов
Вертикальные	- с круглым торцом; - с прямоугольным торцом; - одиночные или цепочки световодов; - световоды в несколько рядов (матрицы)	Используются, когда излучающая поверхность на передней панели должна располагаться параллельно печатной плате. Как правило, крепятся к монтажной плате с помощью запрессованных выступов
Гибкие	- для светодиодов SMD и THT с волокнами 1000, 2000 и 3000 мкм и прозрачными, а также цветными линзами; - с круглым торцом	Экономически эффективные решения для многих задач оптоэлектронного проектирования, которые возникают, например, когда продукт получает новый дизайн в середине жизненного цикла. Крепятся на печатной плате поверх TOPLED с помощью защелкивающих колышков; линзы закреплены на передней панели
Миниатюрные	- для крепления на лицевой стороне панели; - с круглым или квадратным торцом; - горизонтальные световоды; - вертикальные световоды	Миниатюрные компоненты высокой точности и качества для ограниченных пространств установки. Более 150 видов с круглым, квадратным и прямоугольным излучающим торцом
С квадратным торцом	—	Горизонтальные, вертикальные или миниатюрные световоды с квадратным излучающим торцом
Разные геометрические формы	—	Световоды с равномерным свечением всей поверхности различных геометрических форм. Могут использоваться в мембранных клавиатурах



Светопроводник к Вашему успеху



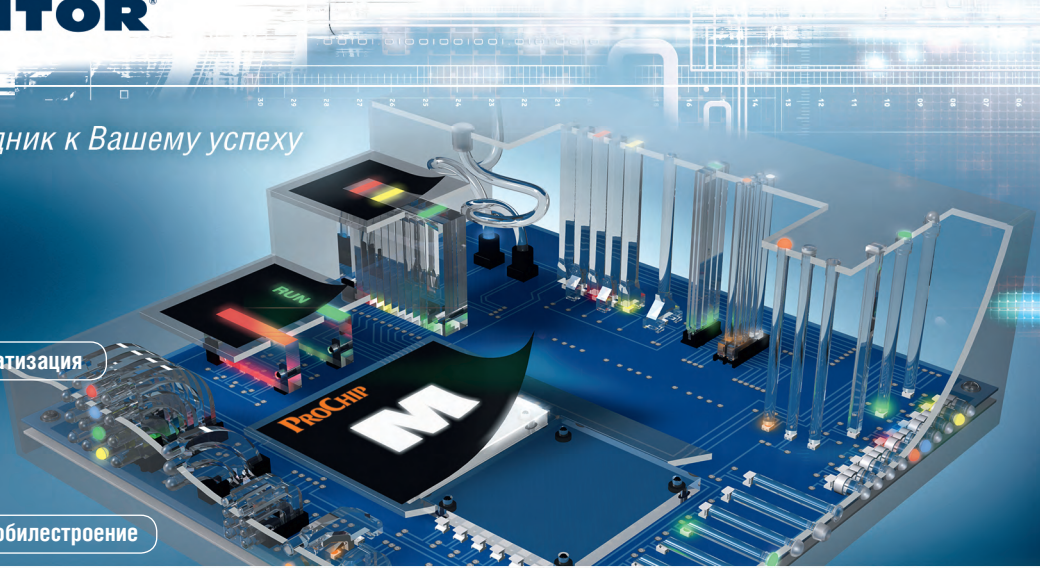
Автоматизация



Автомобилестроение



Медицина



Световоды для SMD- и THT-светодиодов

Особенности:

- Световоды со степенью защиты IP68
- Диапазон температур: -40...+85°C
- Возможно изготовление заказных изделий



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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





Рис. 3. Пускатель двигателя модели Sirius ET200 от Siemens

чайших деталей; классическая полимерная оптика, отражатели и рассеиватели в сочетании с современной светодиодной технологией и многое другое.

Примеры применения световодов MENTOR выходят далеко за рамки стандартных промышленных устройств и контрольно-измерительного оборудования.

Заказчиками и партнёрами MENTOR являются крупнейшие компании: ABB, Audi, BMW, Porsche, Siemens, Volkswagen. В разделе Know How на сайте компании можно ознакомиться с целым рядом проектов, выполненных по индивидуальному дизайну [2]: подсвечивающийся логотип BMW для подголовника сиденья, контурная подсветка интерьера для Audi, подсветка «умного» кухонного комбайна Thermomix от Vorwerk, оригинальная подсветка кулера Kärcher.

Решениям MENTOR для автомобильной промышленности посвящён отдельный сайт [3].

Ещё одной областью для применения решений MENTOR является дизайнерская и архитектурная подсветка. Для подобных проектов у компании есть несколько разработок: M-fibre и TUNABLE WHITE. M-fibre – система, состоящая из светодиодных модулей, драйверов и световодов (круглых, плоских или гибких), подходящая как для дневной, так и ночной подсветки. Световодные конструкции могут как обладать однородной яркостью по всей длине, так и допускать частичную активацию яркости для сегментированного освещения с малыми потерями. TUNABLE WHITE – инновационная разработка на основе мощных светодиодов, позволяющая динамически контролировать цветовую температу-

ру в спектре белого цвета. Эти решения подойдут для гармонизации нескольких источников света, компенсируя разницу световой температуры и эффект старения лампы. В помещениях без окон можно имитировать дневной свет, чтобы создать ощущение благополучия, а также повысить эффективность работы. Данный эффект создаётся благодаря автоматическому изменению цветовой температуры в течение дня и ночи согласно кривой Планка. Управление TUNABLE WHITE осуществляется через приложение на смартфоне.

Тем не менее стандартными и самыми распространёнными примерами применения оптоэлектронных компонентов и световодов MENTOR являются приборные панели контрольно-измерительного и вычислительного оборудования. На рисунке 3 показан пускатель двигателя модели Sirius ET200 от Siemens, в котором используется кастомизированная версия миниатюрного световода серии 1296, отлично подходящего для компактного корпуса устройства и показывающего, что световые индикаторы необязательно должны быть круглыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.mentor-bauelemente.de/en/know-how/solutions/>
2. <https://www.mentor-bauelemente.de/en/know-how/references/>
3. <https://mentor-automotive.de/en/>



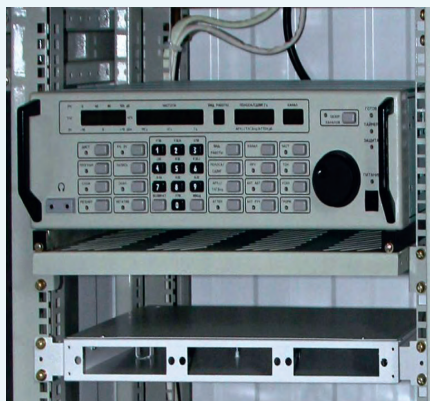
НОВОСТИ МИРА

«Росэлектроника» поставит спасателям новые радиостанции для применения в условиях ЧС

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех разработал коротковолновую радиостанцию для применения спасателями при чрезвычайных ситуациях на неподготовленной территории в условиях разрушения инфраструктуры связи. Радиостанция размещена в контейнере, что позволяет провести передислокацию аппаратуры в предельно сжатые сроки и применять оборудование в самых суровых климатических условиях.

Радиостанция разработана в интересах МЧС России специалистами Омского НИИ приборостроения (входит в холдинг «Росэлектроника»). На данный момент аппаратура проходит завершающий этап испытаний и в ближайшее время будет передана

главным управлениям МЧС по Новосибирской и Свердловской областям, а также Хабаровскому краю.



Отсутствие шасси уменьшает цену аппаратуры и стоимость её эксплуатации. Новая разработка заменит устаревшие радиостанции, размещаемые на грузовых автомобилях.

Для работы радиостанции достаточно подключения к оптической линии управления и к электропитанию. Аппаратура не требует присутствия оператора и управляется дистанционно. Новое оборудование является универсальным радиотехническим комплексом, работает в диапазоне частот 1,5–29,99999 МГц и обладает широким спектром функциональных возможностей: например, обеспечивает приём и передачу информации в КВ-диапазоне в автоматизированных радиоканалах МЧС России, в радиоканалах открытой телеграфной и телефонной связи. Радиостанция имеет дальность действия 1000 км, которая в случае необходимости может быть увеличена за счёт изменения применяемой номенклатуры антенно-фидерных устройств.

Пресс-служба холдинга
«Росэлектроника»

Источники питания для монтажа на плату

- ✓ Низкая стоимость
- ✓ Высокая надёжность
- ✓ Короткое время выполнения заказа
- ✓ Стандартная площадь посадочного места
- ✓ Наивысшая удельная мощность



5 Вт
AC/DC
площадь
1"×1"

Маломощные источники питания AC/DC для установки на плату



Серия ECE

- От 5 до 40 Вт
- Ультратонкие площадью от 1"×1"
- Герметизированное исполнение
- Одно- и двухканальные модели
- Потребляемая мощность в режиме холостого хода < 0,3 Вт



Серия ECL

- От 5 до 30 Вт
- Ультратонкие
- Одно- и многоканальные модели
- Герметизированное исполнение и открытый корпус
- Потребляемая мощность в режиме холостого хода < 0,3 Вт



Загрузите

интерактивное руководство
по выбору преобразователей AC/DC и DC/DC

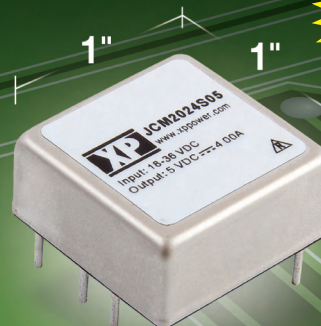
www.xppower.com/literature_downloads



GREEN+POWER



Селектор для загрузки
в мобильные устройства



20 Вт
DC/DC
площадь
1"×1"

Серии DC/DC-преобразователей в стандартном исполнении

От 1 до 3 Вт

- Корпуса SIP и DIP
- Варианты со стабилизацией выходного напряжения и с низким коэффициентом стабилизации
- Входы 2:1, 4:1 и ±10%
- Гальваническая развязка вход-выход от 500 В до 6 кВ



От 2 до 6 Вт

- Площади оснований 1"×1", 1"×2", 2"×2" и DIP-24
- Одно-, двух- и трёхканальные модели со стабилизированными напряжениями
- Широкий диапазон входного напряжения 2:1 и 4:1
- Гальваническая развязка вход-выход до 3,5 кВ



Соответствие требованиям медицинских стандартов

- От 3 до 10 Вт
- IEC 60601-1, 3-е издание
- Усиленная изоляция 4 кВ (переменный ток)
- Ток утечки на пациента 2 мкА



Драйверы для светодиодных систем освещения

- От 5 до 48 Вт
- Ток нагрузки до 1000 мА
- Режим генератора тока
- КПД 95%



Модели для поверхностного монтажа

- 1 и 2 Вт
- Варианты со стабилизацией выходного напряжения и с низким коэффициентом стабилизации
- Входы 2:1, 4:1 и ±10%
- Одно- и двухканальные модели



XP Power



Тестирование передатчиков: пять фундаментальных проблем

Олег Калинин (oleg.kalinin@keysight.com)

Проектирование любой системы беспроводной передачи данных – непростая задача, которая непременно включает в себя тестирование ВЧ-устройств и систем. В данной статье рассматриваются пути решения пяти основных проблем ВЧ-испытаний: соответствие требованиям стандартов, точные измерения ВЧ-мощности, помехоустойчивость, ЭМС и оптимизация энергопотребления.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ УСТРОЙСТВ ТРЕБОВАНИЯМ СТАНДАРТОВ И НОРМАТИВОВ

Для многих стандартов радиосвязи производители испытательных систем предлагают специализированные инструменты для испытаний передатчиков, которые, как правило, ориентированы на серийное или опытное производство. С другой стороны, разработка и отладка передатчиков требует выполнения разнообразных измерений, выходящих далеко за рамки простой проверки характеристик и испытаний готовых изделий на соответствие стандартам. Такие дополнительные измерения включают общий спектральный анализ модулированных сигналов и измерения сигналов подсистем в различных узлах устройства. Это могут быть как обычные гармонические сигналы, так и модулированные, причём их частота не всегда соответствует частоте рабочего канала.

Очевидной платформой для таких измерений является анализатор сигналов с цифровым трактом промежуточной частоты (ПЧ) и векторной обработкой сигналов. Анализаторы сигналов могут выполнять все необходимые измерения спектра и могут быть дополнены прикладным измерительным программным обеспечением. Различные измерительные приложения ориентированы на конкретные стандарты радиосвязи, и по

мере изменения этих стандартов приложения можно обновлять. Это позволяет использовать один анализатор и для проведения испытаний на соответствие стандартам, и для повседневных задач, связанных с анализом сигналов в ходе проектирования беспроводных устройств.

В настоящее время выпускаются десятки различных видов измерительных приложений, которые охватывают все основные стандарты радиосвязи. Большинство измерительных приложений работает на одноканальных анализаторах сигналов, но имеются и версии для многоканальных модульных анализаторов, которые позволяют выполнять полную демодуляцию сигналов ММО. Эти приложения используют единые измерительные алгоритмы для всех анализаторов, и компания Keysight проверяет данные алгоритмы на соответствие требованиям стандартов. Кроме того, измерительные приложения обновляются по мере пересмотра и расширения требований стандартов. Общие алгоритмы и интерфейсы сокращают время на обучение работе с приложениями и программирование.

Даже повседневные измерения могут быть достаточно сложны в настройке, а предлагаемые измерительные приложения позволяют упростить их выполнение за счёт простоты настройки и автоматизированных расчётов. Специализированные

приложения позволяют измерять фазовый шум, ВЧ-мощность и коэффициент шума.

ПРОВЕДЕНИЕ ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

Точные результаты измерения мощности имеют критическое значение на всех этапах проектирования и производства. Нередко эти измерения выполняются на сигналах, изменяющихся во времени. Такой сигнал может исходить как от полноценного передатчика, так и от входа или выхода отдельного компонента или подсистемы передатчика или приёмника. В беспроводных системах связи многие РЧ-сигналы имеют шумоподобные характеристики, и их уровень мощности необходимо измерять в заданном диапазоне частот или канале. В этих случаях для получения точных и повторяемых результатов измерений необходимо интегрировать измеренную мощность в диапазоне частот и затем получить значение, усреднённое по времени и/или по импульсам сигналов.

Для измерений параметров беспроводных устройств применяются как измерители мощности, так и анализаторы сигналов. Каждый из этих приборов имеет своё предназначение, свои преимущества и недостатки.

Измерители мощности – это недорогие и точные инструменты с отличным частотным диапазоном и согласованием с источником. Измерители с взаимозаменяемыми датчиками мощности обеспечивают чрезвычайно широкий рабочий диапазон частот при хорошем согласовании комплексных сопротивлений, что способствует повышению точности измерений. Измерители мощности могут подключаться к различным точкам тракта передатчика или к отдельным блокам с целью определения характеристик усилителей, аттенуаторов или преобразователей частоты. Некоторые из них имеют очень полезную функцию измерения пиковой мощности, позволяющую измерять изменяющиеся во времени сигналы, динамические элементы, тепловой эффект или эффекты, связанные с источником питания. Многие измерители мощности способны выполнять измерения мощности во временной области с настраиваемыми параметрами времени (см. рис. 1).

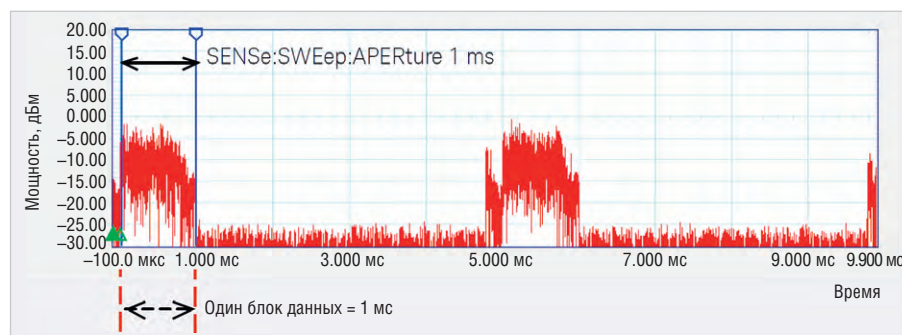


Рис. 1. Измерение средней мощности пакетного сигнала для одного субфрейма LTE

A tall, white, multi-stage rocket stands vertically on a launch pad. The rocket has a slender, cylindrical body with several distinct sections. It is supported by a large, dark metal structure that appears to be part of the launch pad's infrastructure. The background is a clear, light blue sky.

ОТЕ

Оригинальные запчасти, автоматизированные тестовые системы, программное обеспечение для проведения калибровки и настройки, опытный персонал - все это позволяет выполнять весь набор тестов в соответствии с требованиями завода-изготовителя максимально качественно и в сжатые сроки. Будьте уверены в точности ваших измерений!



Реклама

Главным ограничением измерителей мощности считается возможность их работы только в широкой полосе частот – это означает, что данные приборы не смогут точно измерять слабые сигналы на фоне более мощных, и что для более точных измерений им потребуется более высокая амплитуда. Будучи широкополосными устройствами, они не могут ограничить измеряемую полосу частот, чтобы исключить широкополосный шум, паразитные сигналы, источники помех и пр.

Анализаторы сигналов не могут похвастаться высокой точностью при измерениях мощности отдельных сигналов высокого уровня, которой обладают измерители мощности. С другой стороны, они обеспечивают множество преимуществ при испытаниях РЧ-передатчиков, будь то определение характеристик передатчиков или отдельных подсистем. Основные преимущества анализаторов сигналов с точки зрения измерения мощности беспроводных систем обусловлены избирательностью диапазона частот и временных интервалов или во многих случаях сочетанием этих видов избирательности. Возможность ограничения частот предлагает проводить измерения по отдельным каналам или полосам частот, такие как измерения относительного уровня мощности в соседнем канале. Измерительные приложения автоматически конфигурируют измерения и сравнивают результаты, полученные в основном из соседних (альтернативных) каналов, после чего представляют результаты в графической и табличной форме (см. рис. 2). Такая избирательность так-

же снижает мощность широкополосного шума в результатах измерений, способствуя повышению точности и динамического диапазона, в первую очередь для малых сигналов и сигналов близких по мощности к шуму. По сравнению с измерителями пиковой мощности анализаторы сигналов обеспечивают более высокую избирательность для измерений мощности во временной области.

Поиск, измерение и устранение помех

Важно хорошо знать спектральный состав выходного сигнала радиопередатчиков, в том числе их динамические характеристики. Конечно, из-за импульсной природы сигналов, занимающих спектр, здесь могут присутствовать переходные сигналы, зачастую с очень высокой скважностью. Самая неприятная проблема заключается в том, что скважность этих сигналов может сильно изменяться из-за асинхронного характера передачи и схем мультиплексирования. Из-за этого некоторые переходные сигналы очень трудно выявить и измерить.

Анализаторы спектра и сигналов всегда были основными приборами для обнаружения и измерения паразитных сигналов и помех. В последние годы архитектура многих анализаторов спектра прошла путь от аналоговых до цифровых трактов ПЧ и от скалярной до векторной обработки сигналов. Теперь такие приборы принято называть анализаторами сигналов, подчёркивая их более универсальные и мощные аналитические возможности. Во многих случаях анализаторы сигналов выпускаются в виде базовых моделей

с базовыми функциями анализа спектра, но их можно обновлять и превращать в мощные инструменты для измерения паразитных сигналов и прочих помех.

Быстрое свипирование – специальная функция обработки сигналов, которая существенно повышает скорость свипирования при использовании узких полос разрешения. Скорость свипирования возрастает в десятки раз, что даёт целый ряд преимуществ при измерении паразитных сигналов и помех. Большее число измерений за интервал времени повышает шансы обнаружения редко возникающих сигналов. Эту характеристику иногда называют вероятностью обнаружения. Измерения с более узкой полосой разрешения улучшают идентификацию проблемных сигналов в плотно занятом спектре. Улучшенное отношение сигнал/шум и меньший уровень собственных шумов позволяют обнаруживать малые сигналы вблизи шумового порога. Во многих случаях меньший уровень собственных шумов, непосредственно связанный с функцией быстрого свипирования, помогает извлечь полезную информацию из тех измерений, которые ранее считались неподходящими для данной системы.

Быстрое свипирование может повысить вероятность обнаружения паразитных сигналов или помех в сочетании с другими базовыми функциями, такими как функция удержания пикового значения. Однако современные анализаторы сигналов предлагают и другие, ещё более мощные возможности.

Анализ спектра в режиме реального времени (RTSA). В некоторых анализаторах сигналов применяются специализированные ИС и ПЛИС, которые обеспечивают очень высокую скорость обработки сигналов в цифровых трактах ПЧ. Анализаторы, работающие в режиме анализа спектра в реальном времени, используют свою вычислительную мощность для непрерывной обработки всех выборок сигнала в указанной полосе частот. Обычно результаты такой обработки ограничены стандартными характеристиками спектра мощности (т.е. не являются векторными), но при этом можно гарантировать, что ни один участок спектра не будет потерян. Это обеспечивает почти стопроцентную вероятность обнаружения редких, слабых и паразитных сигналов, существенно повышая достоверность измерений помех.

Запуск по частотной маске (FMT). Функция FMT основана на обработке спектра в реальном времени. Запуск по

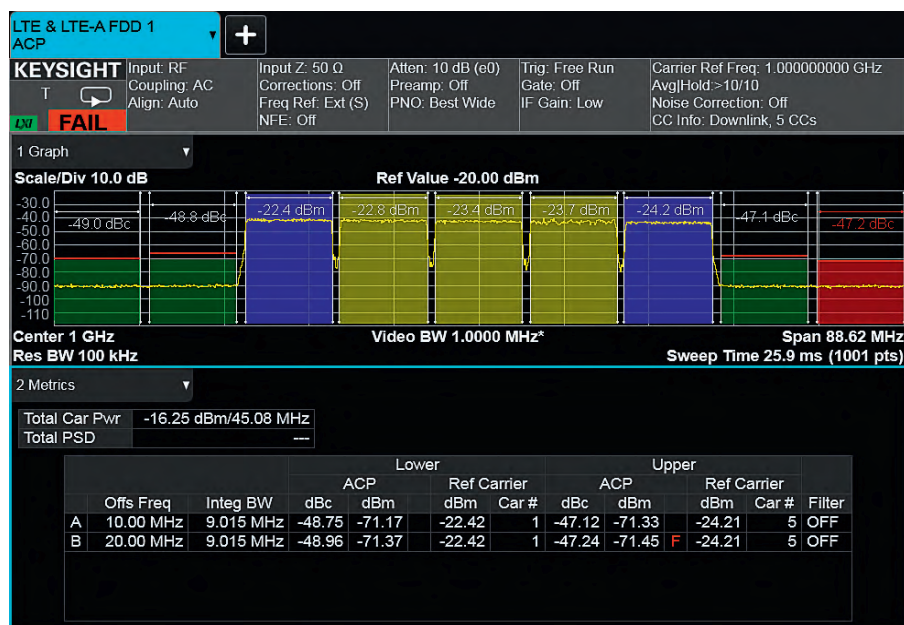


Рис. 2. Автоматизированное измерение коэффициента мощности в соседнем канале

частотной маске можно представить как расширенную версию запуска по уровню в ПЧ, которая обычно присутствует в векторных анализаторах сигналов и в некоторых анализаторах спектра. Для улучшения этой функции появилась возможность вручную настраивать спектральную маску, выход за пределы которой запускает некоторое действие: измерения, вывод результатов или захват сигнала. В большинстве случаев запуск выполняется при нарушении или пересечении границ маски. Однако обработку можно настроить так, чтобы запуск выполнялся при выходе сигнала за пределы маски или при выходе и последующем входе. Как и в случае использования анализа спектра в реальном времени, основное преимущество данной функции заключается том, что она гарантирует обнаружение всех сигналов, переходов или событий, нарушающих маску или отвечающих определённым логическим условиям.

Векторный анализ сигналов (VSA). Как и следует из названия, данный режим использует полную векторную обработку сигнала и, следовательно, может включать любые типы измерений в частотной, временной или модуляционной областях. Он особенно полезен для измерения цифровой модуляции и многорежимного анализа, в котором анализ частоты и времени синхронизируется с измерением качества модуляции для диагностики неисправностей.

Захват и воспроизведение сигналов. Большой объём высокоскоростной памяти может сочетаться с векторной обработкой ПЧ для полного непрерывного захвата сигнала. Эта способность присуща функции векторного анализа сигналов и, как правило, сочетается с инструментами последующей обработки или воспроизведения. В общем случае выполняется захват широкополосного сигнала, после чего анализируются отдельные сигналы или более узкие каналы частот.

Благодаря полному захвату сигнала в память, с записанным сигналом можно выполнять любой тип анализа, как в частотной, так и во временной областях без повторного захвата. Такие возможности особенно полезны для анализа переходных сигналов или однократных выбросов, они позволяют также измерять однократно встречающиеся сегменты длинных сигналов, пакетов или фреймов. Поскольку захват сигнала идёт непрерывно, событие запуска лишь помечает в сигнале точку запуска, делая доступной информацию до и после запуска. Таким образом, можно измерить сигнал до момента запуска,

что позволяет установить причинно-следственные связи и временные соотношения между сигналами.

Говоря о записи сигнала и его анализе во время воспроизведения, стоит упомянуть две другие возможности. Во-первых, для обработки записанных данных во время воспроизведения функция векторного анализа сигналов обычно использует передискретизацию и цифровой гетеродин. Эти операции позволяют менять центральную частоту и полосу обзора в ходе последующей обработки. Во-вторых, непрерывный характер захвата можно сочетать с измерением спектральной плотности, например, со спектрограммой, для визуализации всех видов активности в течение времени захвата. В результате скорость обработки может достигать сотни тысяч или даже миллионов рассчитанных спектров в секунду. Это позволяет лучше исследовать высокоскоростные и сложные сигналы, выявлять помехи и устанавливать причины их появления.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ

В системах беспроводной связи, где сигналы меняются во времени, а также меняются и потенциальные источники паразитных сигналов и помех, полезно применять последовательность тестов разного типа, которая гарантирует обнаружение всех сигналов, точные измерения их параметров и глубокий анализ. Эти тесты объединяются в измерительный процесс, помогающий получить достоверные результаты за меньшее время.

1. Сначала необходимо проверить, насколько представления о возможных источниках помех в исследуемом сигнале соответствуют действительности. Для этого лучше всего начать с анализа спектра с использованием свипирования, а также с изучения поведения системы в условиях известных источников помех и определения этих источников. Если известна амплитуда, частота или временные характеристики, то можно перейти к захвату сигнала в ПО VSA, например, с помощью запуска по уровню ПЧ или с отрицательной задержкой запуска для захвата начала переходного процесса.
2. Если имеются подозрения о наличии помехи, но ничего или почти ничего о ней не известно, то следует попробовать функцию анализа спектра в реальном времени. Хотя это измерение чисто скалярное, не дающее информации о поведении сигнала во временной области, оно гарантирует обнаружение сигналов, даже если о них ничего не известно. Если важны временные характеристики сигналов, рекомендуется применить запуск по времени.
3. Если не удаётся выделить проблемный сигнал с помощью запуска по уровню, функция запуска по частотной маске позволит сосредоточиться на спектральных аспектах. Кроме того, можно запустить отдельные измерения или захваты сигнала. В ПО VSA запуск по спектральной маске можно настроить таким образом, чтобы выбрать для демодуляции определённый скачок по частоте (см. рис. 3).

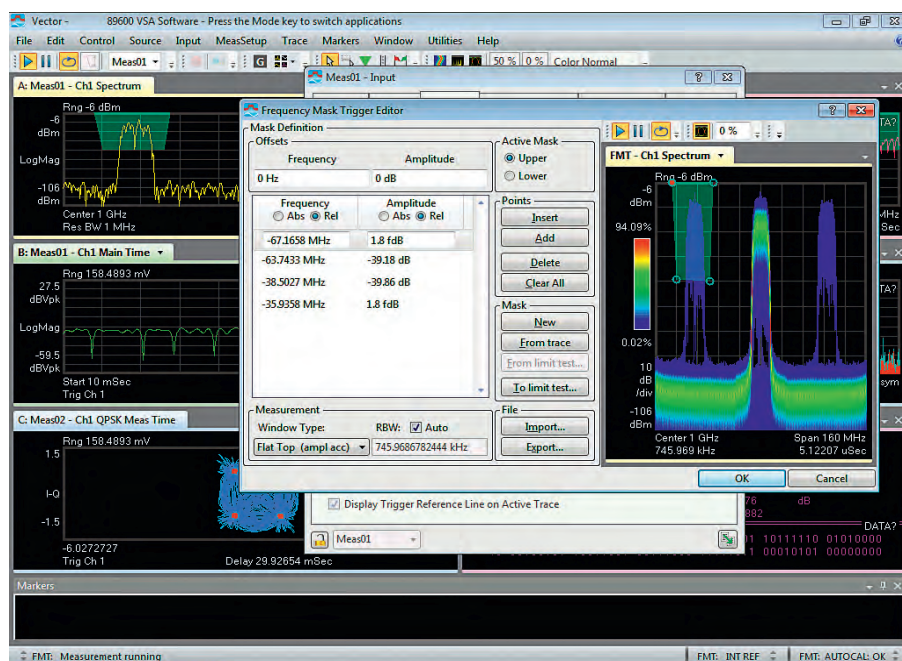


Рис. 3. Использование функции запуска по частотной маске



Рис. 4. Использование приложения для измерения ЭМП для анализаторов

- После захвата исследуемого сигнала следует использовать его воспроизведение или последующую обработку в ПО VSA. Большой объём памяти и графические инструменты позволяют выбрать нужную часть сигнала по отношению к моменту времени, соответствующему некоторому уровню ПЧ, частотной маске или временному параметру.
- В ходе воспроизведения можно свободно менять центральную частоту и полосу обзора, фокусируясь на нужной частоте без повторного захвата (пока сигнал располагается в пределах исходной полосы захвата).
- Рекомендуется менять типы анализа и режимы отображения. Такой подход является очень мощным способом получения полной информации о помехах за счёт применения методов, принятых для анализа немодулированных сигналов. Для идентификации сигнала и его наиболее важных параметров можно использовать временные и частотные маркеры, расчёт мощности в полосе и даже демодуляцию. Спектрограммы и графики спектральной мощности могут выявить важные особенности поведения сигнала и его взаимосвязь с полезными сигналами.

Некоторые помехи неизбежны, но их можно устранить с помощью определённых методов, таких как предотвращение коллизий или повторные передачи. Описанные здесь шаги помогут лучше понять характер помех во временной и частотной областях, создавая надёжную основу для разработ-

ки решений и оценки возможной степени их влияния.

Поиск и устранение проблем ЭМС на самых ранних этапах

Электромагнитные помехи (ЭМП) всегда являются большой проблемой для радиоинженеров, пытающихся соблюсти требования нормативных документов и в то же время обеспечить совместимость в плотно занятом спектре. И хотя формальные сертификационные испытания очень важны, они выполняются на самых последних этапах процесса разработки, создавая риск задержки выпуска нового изделия и потенциальную возможность дорогостоящих доработок и повторных испытаний. Поиск и устранение таких проблем на ранних этапах – во время проектирования и проверки конструкции – обычно выполняется проще и обходится дешевле.

Для испытаний на ЭМС применяются специальные виды измерений, отличные от типичного анализа спектра. Например, необходимо использовать специальные полосы частот и такие детекторы, как «квазипиковый» (который, в отличие от пикового или усредняющего детектора, рассчитывает значение сигнала как функцию от частоты повторения). Эти детекторы и некоторые полосы измерения, как правило, не используются во время обычного анализа сигналов или спектра. Сами разработчики, как правило, не проводят испытания на ЭМС. Они проводятся в специальной лабо-

ратории сторонней организации. Если выполнять данные испытания на самых ранних этапах процесса разработки, то конечные сертификационные испытания на ЭМС превращаются в простую формальность.

Для повышения вероятности прохождения испытаний на соответствие требованиям стандартов с первой попытки можно выполнить собственные предварительные измерения. Для этого понадобится анализатор сигналов с приложением для проведения предварительных квалификационных измерений на соответствие нормативным требованиям к излучаемым ЭМП. Ниже приводится примерный список измерительных решений.

Анализаторы сигналов со стандартной функцией измерений ЭМП. Такие анализаторы содержат специальные фильтры ЭМП, настройки предельных линий и функции коррекции результатов измерений для реализации различных коэффициентов усиления антенны.

- Анализаторы сигналов с измерительными приложениями для испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС). Такие анализаторы должны поддерживать диапазоны, детекторы и полосы, определённые Специальным международным комитетом по радиопомехам (CISPR), специальные режимы измерений с несколькими детекторами в положениях, указанных маркерами, а также возможность прослушивания для распознавания различий в сигналах.
- Анализаторы сигналов с полнофункциональными приложениями для измерения ЭМП могут выполнять полную проверку на соответствие стандартам, включая автоматические испытания по предельным значениям. Также они позволяют установить допуски по измерениям, обеспечивающие надёжное соответствие требованиям нормативов. Кроме того, эти приложения предлагают специальные режимы представления результатов, включая ленточные диаграммы (см. рис. 4). На графике спектра хорошо видны сигналы помех, детально описанные в таблице ниже. Амплитуды сигналов измеряются несколькими детекторами и выделяются разными цветами.
- Пробники ближнего поля необходимы для предварительных испытаний, в частности для диагностики неисправностей и проверки конструкции. Обычно они используются для



Рис. 5. Динамический анализ потребления мощности с помощью анализатора питания

отслеживания излучений до уровня печатных плат, модулей, цепей и даже отдельных компонентов.

- Небольшие экранированные или полубезэховые камеры отделяют внешние сигналы от нежелательных излучений, решая тем самым одну из самых сложных проблем измерения ЭМП. Реальные антенны часто излучают огромное количество сигналов, и некоторые из них могут сильно меняться во времени.

Современные лаборатории содержат множество других источников излучений, и трудоёмкий процесс поиска этих источников и учёта или устранения их влияния на результаты измерения можно существенно облегчить, применив экранированную камеру.

ОГРАНИЧЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БЕЗ УЩЕРБА КАЧЕСТВУ СИГНАЛА

Так как большинство портативных устройств работают от заряжаемых аккумуляторов ограниченной ёмкости, они должны экономно расходовать энергию. Аккумуляторы и преобразователи напряжения зачастую обладают значительным выходным сопротивлением и плохо приспособлены для динамического изменения потребляемой мощности по причине низкой скорости нарастания выходного напряжения и тока. Стандартные лабораторные источники питания с возможностью подачи питания в течение практически неограниченного времени не всегда способны выявить существующие проблемы.

Ограниченные возможности батарей, источников и преобразователей питания вынуждают искать компромисс между мгновенной и общей мощностью и характеристиками РЧ-модуля. Такой компромисс важен не только для функциональных возможностей, но и для конкурентоспособности решения.

Помимо портативных мобильных устройств существует ещё одно стремительно развивающееся направление с особыми потребностями – устройства Интернета вещей, в особенности такие устройства, которые периодически обмениваются малыми объёмами данных с хост-системами или другими устройствами. Такие устройства зачастую работают от небольших элементов питания, но при этом должны сохранять работоспособность в течение нескольких месяцев или даже лет до замены элемента питания.

Не меньше сложностей создают для радиоинженеров режимы покоя со сверхмалым энергопотреблением. Только при наличии точных данных о потреблении энергии в состоянии покоя и при правильной организации переходов между состояниями «сна» и активной работы можно удовлетворить потребности в длительных интервалах между обслуживанием или заменой элементов питания.

ПОИСК КОМПРОМИССОВ В ВОПРОСАХ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Чтобы добиться надёжной и энергоэффективной работы устройства, особенно с низким или сверхнизким уровнем мощности, необходимо провести мно-

жество измерений. Начать рекомендуется с измерений реальной потребляемой мощности. В этом помогут анализаторы питания постоянного тока, объединяющие в себе несколько источников постоянного тока и точные средства измерения мощности (см. рис. 5). Это относительно новая категория приборов, позволяющая упростить процесс измерений и более детально изучить энергопотребление устройств (см. рис. 6).

При изучении особенностей энергопотребления устройств необходимо учитывать как краткосрочные, так и долгосрочные аспекты. Анализаторы питания позволяют проводить измерения, результаты которых помогают выявить колебания потребляемой мощности, в частности пиковое потребление, быстро разряжающее источник питания устройства. Получить представление об энергопотреблении за более продолжительные промежутки времени (секунды и минуты) можно с помощью диаграмм регистратора данных или ленточных диаграмм. Эти измерения часто бывают необходимыми для вычисления суммарной потребляемой мощности при проектировании источников питания, преобразователей и батарей. Также они дают представление о рассеивании мощности подсистемами или компонентами, которые могут иметь ограниченные температурные характеристики.

ИМИТАЦИЯ ПРОФИЛЕЙ НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА

Ознакомившись с базовой информацией, можно переходить к поиску опти-

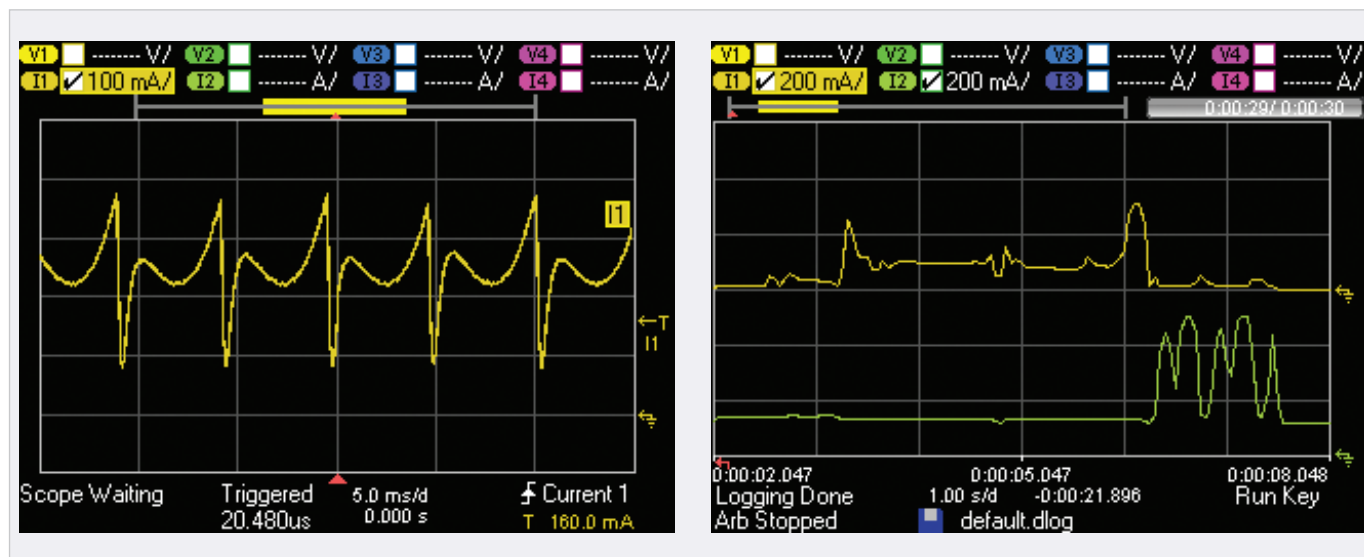


Рис. 6. Динамика потребления тока за 30 мс (слева) и за 30 с (справа)

мального баланса, обеспечивающего требуемое питание при минимальных габаритах и стоимости. Для этого понадобятся источники питания, способные реалистично подавать специально ограниченное питание. Такие источники помогают инженерам учесть предельные значения параметров и обеспечить оптимальные характеристики устройства с максимально компактным источником питания.

Такие решения, как малошумящий источник питания Keysight B2961/62A, достоверно имитируют выходные характеристики и обеспечивают в числе прочего программируемое выходное сопротивление, очень низкие значения силы тока и сверхнизкий шум. Такие источники питания могут работать в режиме имитации напряжения/тока, что позволяет использовать их для электроснабжения АЦП, ЦАП, радиочастотных интегральных схем, генераторов с управлением напряжением, датчиков, измерительных преобразователей и кварцевых генераторов. Режим имитации работает по заданным картам с точками напряжения/тока, с помощью которых имитируются разные устройства, например, солнечные элементы.

Измерение и анализ сверхнизких уровней тока

В портативных устройствах для продления работы при сверхнизком энергопотреблении может потребоваться применить некую систему очередности и распределения мощности, чтобы исключить повышенную нагрузку из-за одновременной работы радиочастотных и вычислительных компо-

нентов. Для этого сценария требуются приборы, способные измерять низкий ток в широкой полосе частот, в сочетании с внешним источником питания или собственным источником питания системы.

Одним из таких приборов является новое решение в области измерения мощности постоянного тока – анализатор формы сигнала тока Keysight CX3300A. Как правило, данный анализатор используется с аналоговыми пробниками, но может быть оборудован и цифровыми пробниками для того, чтобы скоординировать измерения питания с управляющими сигналами устройства. Состояние шины данных может быть сопоставлено с текущим потреблением тока и может использоваться для запуска других измерений на анализаторе ВЧ-сигналов или векторном анализаторе сигналов. Благодаря чувствительности анализатора в полосе пропускания 200 МГц фиксируются переходные токи, которые могут перегрузить источник питания или повредить цепи. Цифровые пробники предоставляют возможности запусков измерений, а глубокая память позволяет изучить форму тока в моменты, отличные от времени срабатывания триггера. Очевидными последствиями ограничения питания постоянного тока в системе являются снижение радиочастотной мощности и искажение сигнала, но возможны и другие эффекты, в том числе снижение качества модуляции. Возможность сопоставить радиочастотные измерения с показателями мгновенного потребления постоянного тока и цифровой активностью системы предоставляет эффективные

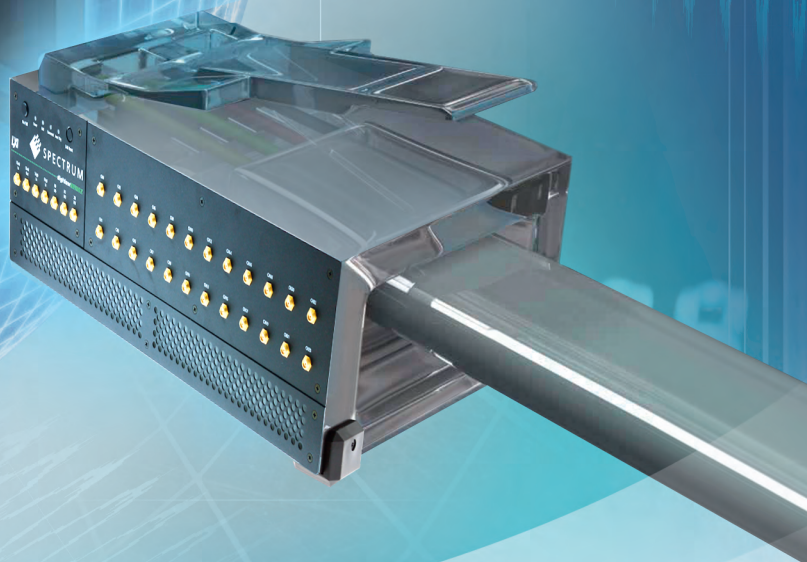
средства оптимизации и устранения проблем, особенно при анализе переходных состояний передачи или приема сигнала, работе нескольких приемопередатчиков и активной работе блока цифровой обработки сигналов.

Способность анализатора формы сигнала тока срабатывать при выявлении последовательностей, определенных состояний и случайных выбросов отлично сочетается с имеющимися у векторных анализаторов сигналов возможностями захвата, воспроизведения и последующей обработки сигналов. Общая последовательность измерений начинается с функций запуска в анализаторе формы сигнала тока. С их помощью создается внешний сигнал запуска, инициирующий одиночное измерение или захват сигнала с помощью векторного анализатора сигналов. Положительные или отрицательные задержки позволяют согласовать измерения напряжения или потребления мощности с измерениями радиочастотной мощности, спектра или качества модуляции.

Заключение

Проектирование любой системы беспроводной передачи данных – непростая задача с жесткими требованиями и необходимостью многочисленных компромиссов. Существующие стандарты и задачи охватывают весь частотный диапазон, от постоянного тока до РЧ, достигая подчас СВЧ и даже миллиметрового диапазона. Оптимальные решения этих задач определяются опытом, знаниями и творческим подходом разработчика, а в реализации помогут анализаторы, источники питания и измерительные приложения.





Измерения везде, где есть Интернет

Высокоскоростные многоканальные АЦП
и генераторы сигналов стандарта LXI



digitizerNETBOX

- более 70 моделей
- от 2 до 48 синхронных каналов
- 5 Гсэмпл/с, 8 бит
- 500 Мсэмпл/с, 14 бит
- 200 ксэмпл/с – 250 Мсэмпл/с, 16 бит



generatorNETBOX

- от 2 до 24 каналов
- 60–125 Мсэмпл/с, 14 бит
- 625 Мсэмпл/с – 1,25 Гсэмпл/с, 16 бит



Пирометр на ПЛИС

Часть 1

Павел Редькин (ppr1@yandex.ru)

Предлагаемая статья содержит схемы и описание работы миниатюрного электронного устройства – бесконтактного термометра (пирометра), предназначенного для измерения температуры различных объектов в широком диапазоне без контакта с ними.

Устройство построено на базе промышленного инфракрасного датчика температуры. Особенностью предлагаемого устройства является использование ПЛИС в качестве аппаратной платформы для его построения.

В первой части статьи рассматриваются основные характеристики, схемы и конструкция устройства, а также приводится описание первичного датчика.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА

Пирометр – прибор для бесконтактного измерения температуры тел. Принцип действия основан на измерении мощности теплового излучения объекта преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света.

Пирометр имеет следующие основные характеристики:

- количество рабочих режимов – 3:
 - режим 1 («А») – измерение температуры окружающей среды;
 - режим 2 («М») – измерение температуры удалённого объекта с лазерным маркером-целеуказателем;
 - режим 3 («Н») – измерение температуры удалённого объекта без лазерного маркера-целеуказателя;
- количество состояний в каждом рабочем режиме – 2:
 - состояние 1 – текущие измерения;
 - состояние 2 («Н») – удержание (фиксация) последнего измеренного значения.

Лазерный маркер-целеуказатель удобно использовать для маркирования точки на удалённом объекте, в которой производится измерение температуры, поскольку применённый в устройстве бесконтактный датчик температуры имеет достаточно узкую пространственную диаграмму направленности.

Диапазон измеряемых температур окружающей среды в режиме 1 от -40 до $+125^{\circ}\text{C}$. Указанный диапазон заявлен производителем применённого в устройстве первичного датчика температуры, однако другие использованные в устройстве электрорадиоэле-

менты, например ЖКИ, не рассчитаны на работу в таком широком диапазоне температур. По этой причине диапазон измеряемых устройством температур окружающей среды на практике будет определяться диапазоном рабочих температур применённого в устройстве ЖКИ: от -20 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Диапазон измеряемых температур удалённого объекта в режимах 2 и 3 от -70 до $+380^{\circ}\text{C}$.

Типовая точность измерения температуры удалённого объекта в диапазоне температур от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$ составляет $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Типовая точность измерения температуры удалённого объекта в так называемом «медицинском» диапазоне температур (от $+36$ до $+38^{\circ}\text{C}$) составляет $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Разрешающая способность измерения температуры окружающей среды и температуры удалённого объекта $0,1^{\circ}\text{C}$.

Количество задаваемых пользователем порогов сигнализации о превышении измеряемой температурой заданного значения – 1.

Разрешающая способность задания порога сигнализации – $0,1^{\circ}\text{C}$. Порог сигнализации может быть задан в диапазоне температур от $-73,3$ до $+386,8^{\circ}\text{C}$. Задаваемый порог является общим для всех режимов работы устройства. Сигнализация при превышении порога температурой окружающей среды или температурой удалённого объекта срабатывает в виде прерывистого звукового сигнала высокого тона и одновременно в виде выдачи низкого логического уровня на цифровой выход ПЛИС, зажигающий подключённый

к этому выходу светодиод. Эффектом «защёлкивания» механизм сигнализации о превышении порога не обладает – если значение температуры становится ниже порога, цифровой выход ПЛИС переходит в высокое состояние, светодиод гаснет – звуковой сигнал прекращается.

Пользовательский интерфейс состоит из шести кнопок управления: MODE (режим), HOLD (удержание показаний), ++ (увеличение грубо), — (уменьшение грубо), + (увеличение точно), – (уменьшение точно).

Интерфейс для связи с внешними устройствами – USB 2.0 (USB-устройство) с возможностью питания пирометра от хоста.

Способы выдачи результатов измерения, текущего значения порога, информации о текущем режиме, текущем состоянии и сигнала превышения порога во всех режимах:

- на символьный двухстрочный ЖКИ (по 8 символов в строке), совместимый со стандартом HD44780;
- во внешний USB-хост через интерфейс USB 2.0 в виде посылки данных в ASCII-коде.

Способы задания текущего режима пирометра:

- кнопкой управления «Режим» по кольцу;
- из внешнего USB-хоста через интерфейс USB 2.0 отдельной командой «Задание режима».

Способы задания порога сигнализации пирометра:

- четырьмя кнопками управления: «++», «—», «+», «–»: значение порога может быть задано по кольцу в диапазоне от $-73,3$ до $+386,8^{\circ}\text{C}$ с помощью кнопок «++», «—», «+», «–» (каждое нажатие на кнопку «++» увеличивает текущее значение порога на $5,0^{\circ}\text{C}$, каждое нажатие на кнопку «—» уменьшает текущее значение порога на $5,0^{\circ}\text{C}$, каждое нажатие на кнопку «+» увеличивает текущее значение порога на $0,1^{\circ}\text{C}$, каждое нажатие на кнопку «–» уменьшает текущее значение порога на $0,1^{\circ}\text{C}$);
- из внешнего USB-хоста через интерфейс USB 2.0 отдельной командой «Задание порога сигнализации».

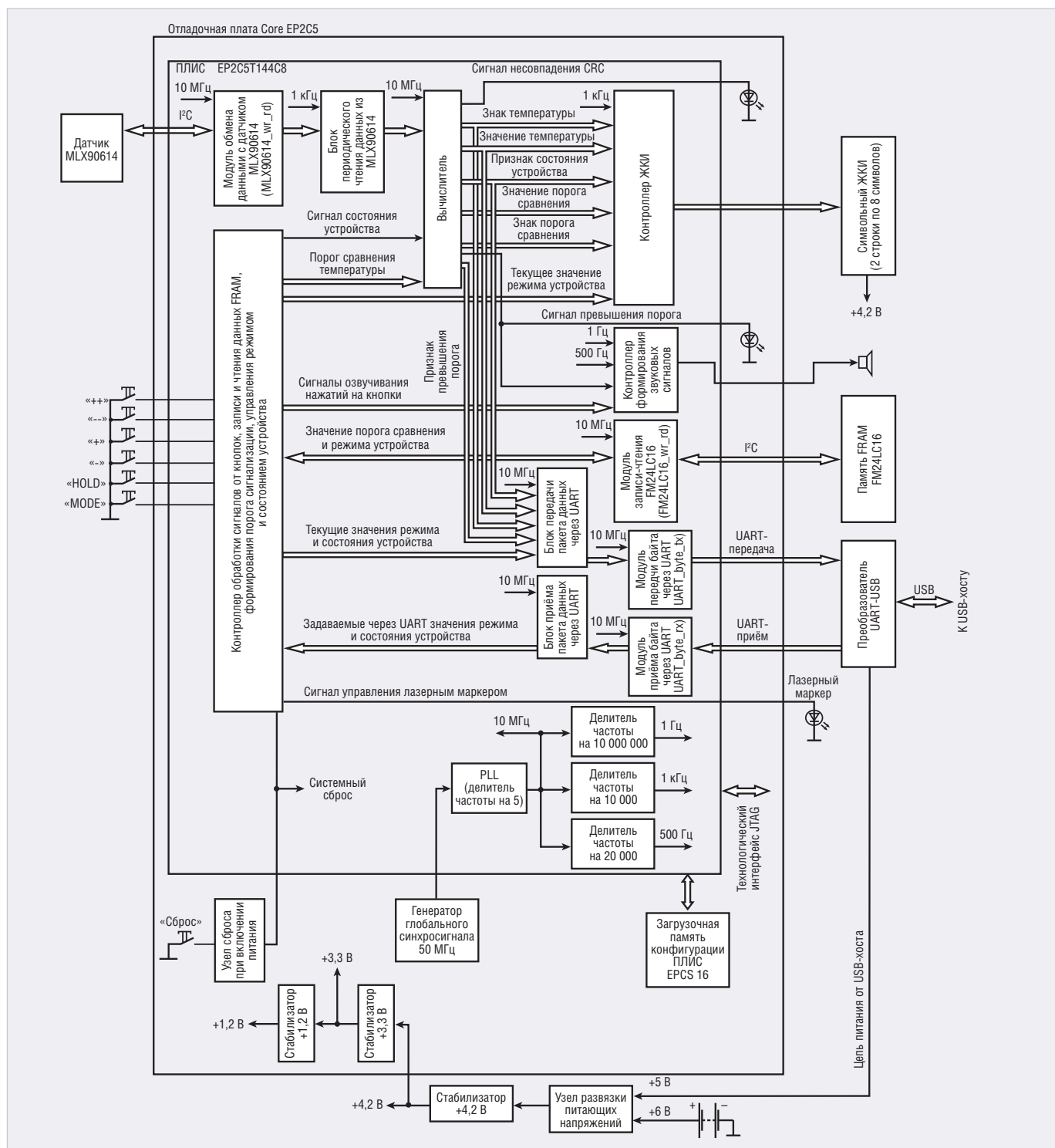


Рис. 1. Структурная схема пирометра

Способы задания текущего состояния пирометра:

- кнопкой управления «Удержание» по кольцу (первое нажатие включает состояние удержания, следующее нажатие отключает состояние удержания);
- из внешнего USB-хоста через интерфейс USB 2.0 отдельной командой «Задание состояния».

В устройстве реализована функция автоматического сохранения текущего режима и текущего значения порога сигнализации в микросхеме энерго-

независимой памяти FRAM с неограниченным количеством циклов записи/стирания. Сохранение производится при каждой смене текущего режима или текущего значения порога сигнализации с помощью кнопок или из внешнего USB-хоста. Последние сохранённые в FRAM перед выключением устройства значения режима и порога сигнализации становятся активными при включении питания устройства.

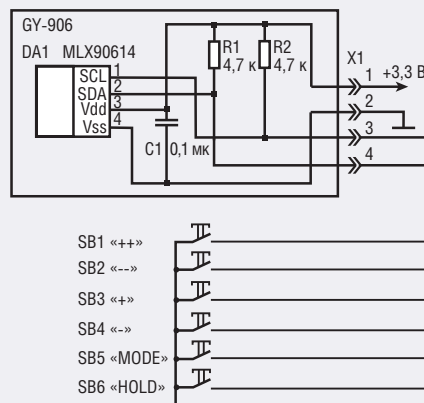
Текущее состояние устройства в FRAM не сохраняется. По умолчанию

после включения питания устройство переходит в состояние 1 (текущие измерения).

Напряжение питания пирометра +6 В (при питании от 4 элементов типа AA, размещённых во встроенном батарейном отсеке) или +5 В (при питании от USB-хоста через интерфейс USB 2.0).

Ток потребления в случае питания напряжением +6 В от батарей:

- при отключённом лазерном маркере – не более 70 мА;



- при включённом лазерном маркере – не более 80 мА.

СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

Структурная схема пирометра показана на рисунке 1. В качестве аппаратной платформы для построения устройства используется отладочная плата Core EP2C5 [1], содержащая ПЛИС EP2C5T144C8, микросхему конфигурационной памяти EPCS16, генератор глобального синхросигнала ПЛИС с частотой 50 МГц, стабилизаторы питающих напряжений +3,3 В, +1,2 В, кнопку «Сброс», несколько светодиодов, разъём технологического интерфейса JTAG и другие мелкие элементы «обвязки» ПЛИС. Поддержка всех имеющихся функций в устройстве реализована в виде составных частей проекта ПЛИС.

К плате Core EP2C5 в устройстве подключаются следующие внешние узлы: датчик температуры, кнопки управления, символьный двухстрочный ЖКИ, микросхема энергонезависимой памяти FRAM, преобразователь интерфейсов UART-USB, звуковой излучатель, светодиод лазерного маркера и стабилизатор напряжения +4,2 В со схемой развязки питающих напряжений, поступающих от батареи и от преобразователя UART-USB.

Принципиальная схема пирометра представлена на рисунке 2. Соединительные разъёмы платы Core EP2C5 на схеме условно не показаны. Датчик температуры DA1 MLX90614 в устройстве смонтирован на маленькой переходной плате промышленного производства GY-906, содержащей резисторы R1, R2 подтяжки линий шины SMBus (I^2C) к напряжению питания и разъём X1 для подключения к этой шине.

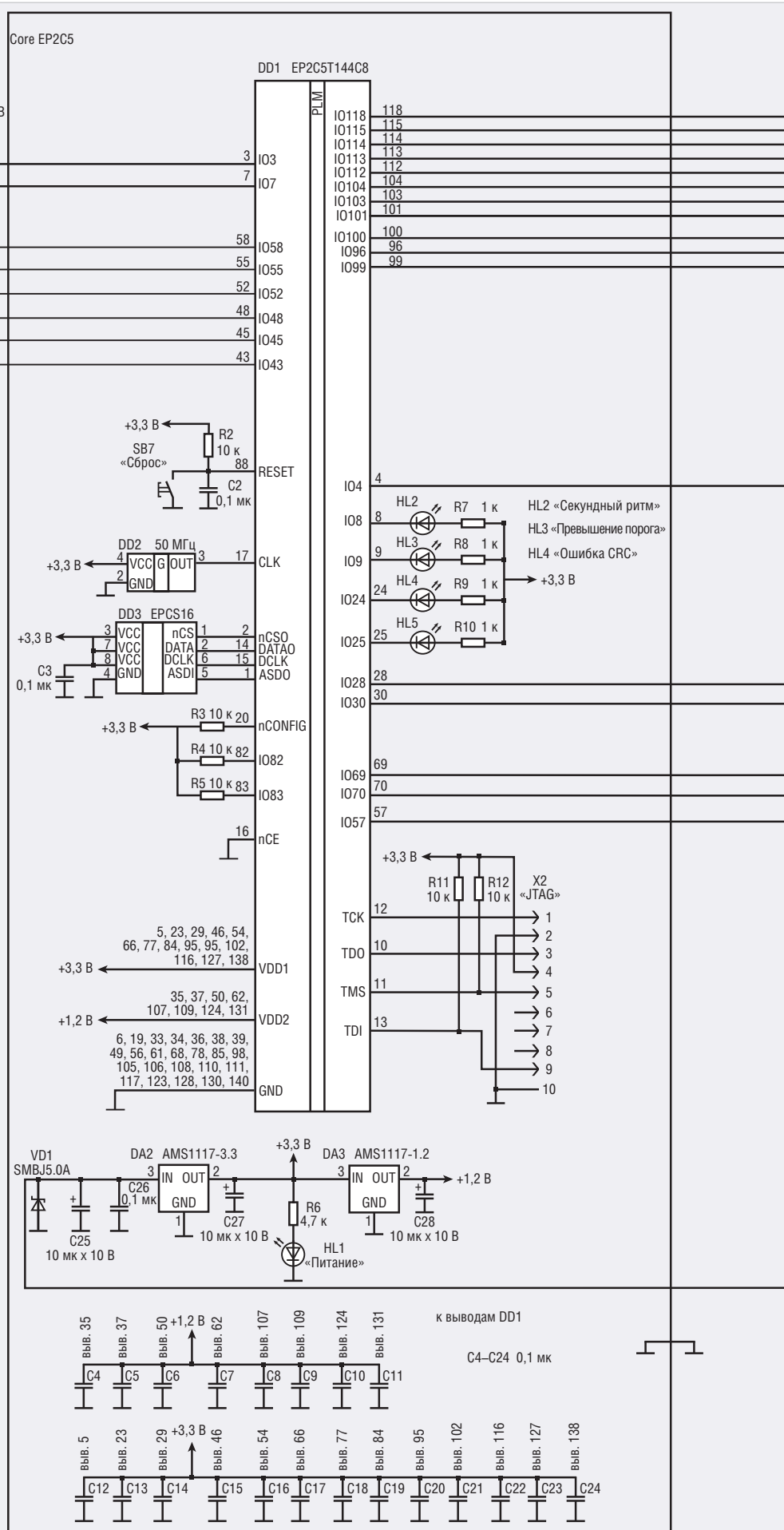
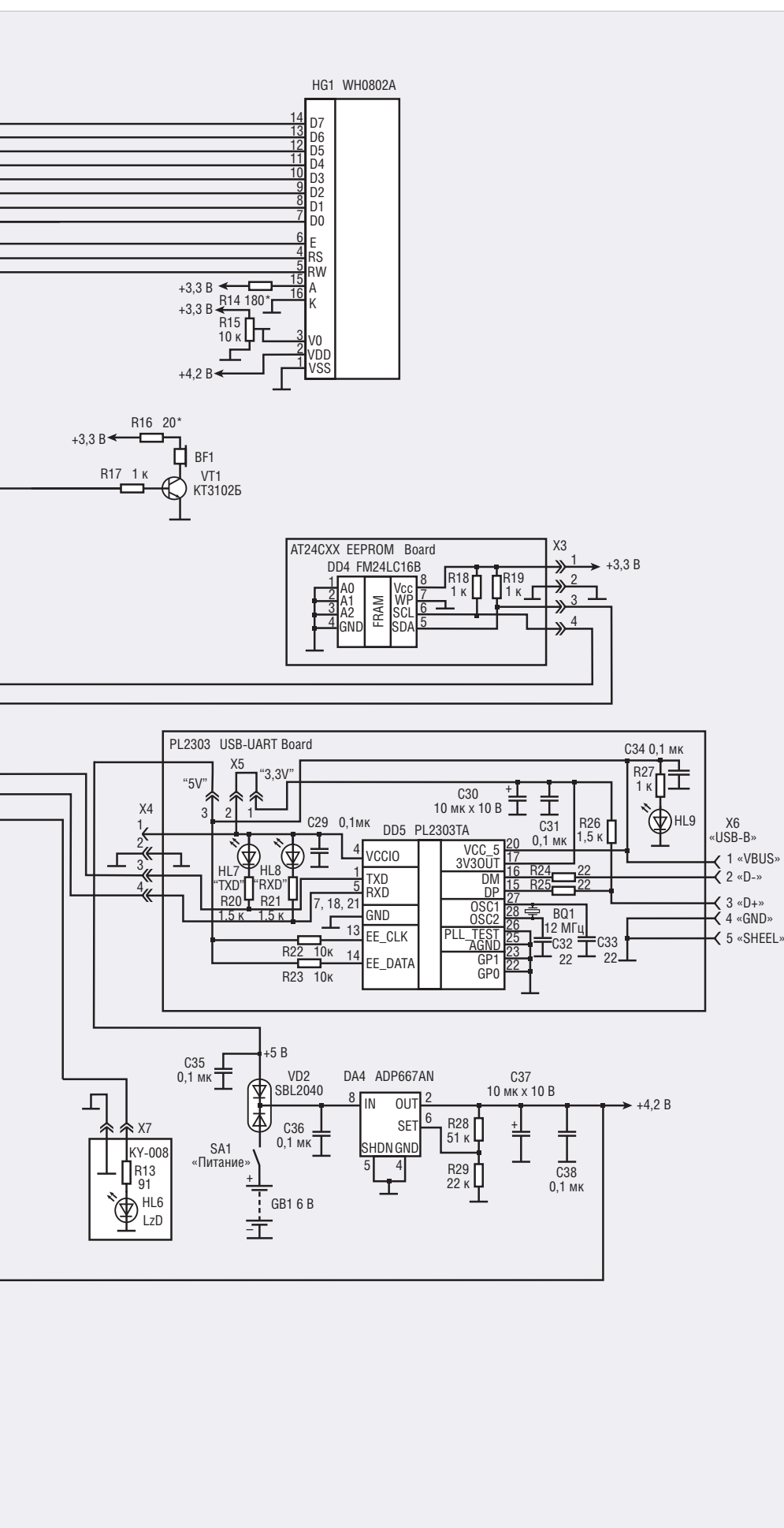


Рис. 2. Принципиальная схема пирометра



Микросхема энергонезависимой памяти FRAM DD4 FM24LC16B в устройстве используется в составе платы AT24CXX EEPROM Board [2], содержащей резисторы R18, R19 подтяжки линий шины I²C к напряжению питания и разъём X3 для подключения к этой шине.

Питание датчика температуры DA1, микросхемы памяти FRAM DD4 осуществляется от стабилизатора напряжения +3,3 В DA2 из состава платы Core EP2C5. Питание самой платы Core EP2C5 осуществляется от внешнего стабилизатора DA4, выходное напряжение +4,2 В которого вырабатывается из напряжения +6 В батареи GB1 (4 элемента типоразмера AA) или из напряжения +5 В, поступающего через плату преобразователя интерфейса PL2303 USB-UART Board [3] от подключённого к пирометру USB-хоста. Выходное напряжение стабилизатора DA4 задаётся резисторами R28, R29.

Плата преобразователя интерфейса PL2303 USB-UART Board питается от подключённого к ней USB-хоста и работоспособна только при наличии указанного подключения.

В качестве узла взаимной развязки выходных напряжений батареи и платы преобразователя интерфейса используется диодная сборка VD2 с малым (порядка 0,3 В) прямым падением напряжения на диодах. 5-вольтовый ЖКИ HG1 питается напряжением +4,2 В с выхода стабилизатора DA4, однако для задания его контрастности и питания подсветки экрана используется напряжение +3,3 В с выхода стабилизатора DA2. В случае использования 3-вольтового ЖКИ его можно полностью питать от напряжения +3,3 В.

В качестве светодиода лазерного маркера в устройстве использован мало-мощный лазерный диод неизвестной автору модели в металлическом корпусе с встроенной фокусирующей линзой, смонтированный на маленькой плате промышленного производства (артикул платы KY-008), приобретённый автором на Aliexpress. По информации продавца, мощность излучения лазерного диода составляет 5 мВт, длина волны излучения – 650 нм.

Несколько слов о конструкции устройства. Корпус пирометра выполнен из металла. Батарейный отсек размещён в рукоятке пистолетного типа. В качестве несущего корпуса использован отрезок П-образного алюминиево-

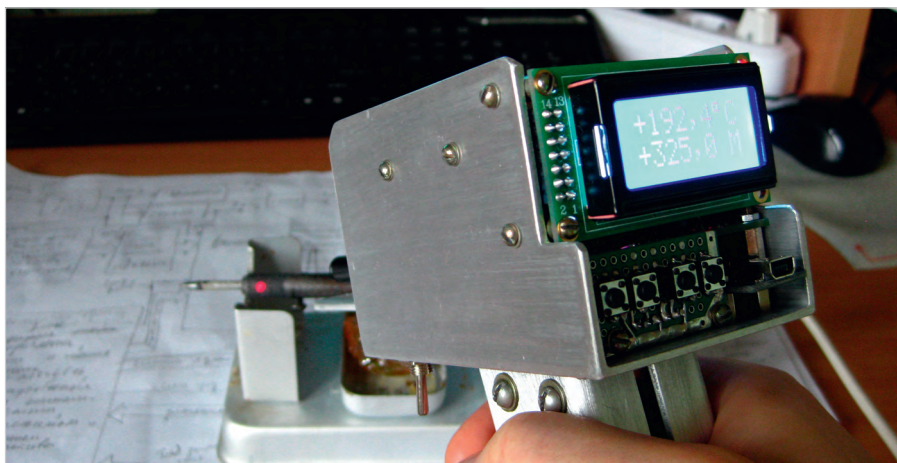


Рис. 3. Внешний вид пирометра

го профиля сечением 60×60 мм и длиной 95 мм. На «затыльнике» несущего корпуса размещены ЖКИ, кнопки «++», «—», «+», «-» и разъём USB типа В. Датчик и лазерный маркер размещены в передней части корпуса устройства таким образом, чтобы их оптические оси были параллельны и максимально приближены друг к другу. В качестве несущего кронштейна для монтажа датчика и лазерного маркера использован отрезок Г-образного алюминиевого профиля сечением 25×25 мм и длиной 75 мм, прикреплённый к несущему корпусу спереди. В передней части пистолетной рукоятки (на месте курка) размещены кнопки MODE и HOLD типа КМ-1, на которые удобно нажимать указательным пальцем. Выключатель питания SA1 размещён на нижней панели несущего корпуса таким образом, чтобы его было удобно переключать кончиком указательного пальца правой руки (для правшей).

Внешний вид пирометра показан на рисунке 3. Значение измеряемой тем-

пературы в °C отображается в верхней строке ЖКИ, а значение порога в °C – в нижней. Также в нижней строке отображается текущий режим устройства (буквы А, N или М) и его текущее состояние (буква Н в случае состояния удержания).

ОПИСАНИЕ ПЕРВИЧНОГО ДАТЧИКА

Характеристики пирометра в плане точности, погрешности и диапазонов измерения температуры в определяющей степени задаются соответствующими характеристиками применённого в устройстве первичного датчика. В качестве такового используется промышленный двухканальный инфракрасный датчик температуры MLX90614-ESF-DCI производства Melexis [4], внешний вид которого в составе устройства показан на рисунке 4.

Первый канал датчика является внутренним и предназначен для измерения температуры самого датчика T_A ,

значение которой в пирометре принимается равным значению температуры окружающей среды. Второй канал предназначен для бесконтактного измерения температуры удалённых от датчика внешних объектов. При поданном питании датчик непрерывно циклически измеряет и вычисляет температуру окружающей среды T_A и температуру удалённого объекта во втором канале T_O . С заданными по умолчанию заводскими настройками длительность одного цикла всех этих измерений для MLX90614-ESF-DCI составляет 0,65 с.

Под температурой объекта здесь понимается средняя рассчитываемая датчиком температура всех внешних объектов, попавших в поле чувствительности датчика. В ходе измерения поступившее в датчик инфракрасное излучение от этих объектов преобразуется в напряжение, которое затем оцифровывается, подвергается фильтрации и математической обработке в соответствии с алгоритмом, приведённым в [4]. При этом по умолчанию датчик сконфигурирован так, что для его второго канала, измеряющего температуру T_O , действует заводская калибровка.

Для датчика MLX90614-ESF-DCI диаграмма направленности (поле чувствительности) задана пространственным конусом с телесным углом 5° у вершины в приёмном окне датчика и с осью симметрии конуса, перпендикулярной плоскости поверхности приёмного окна. Очевидно, что чем острее диаграмма направленности датчика, тем точнее он будет измерять температуру мелких объектов. Однако при отсутствии необходимости в

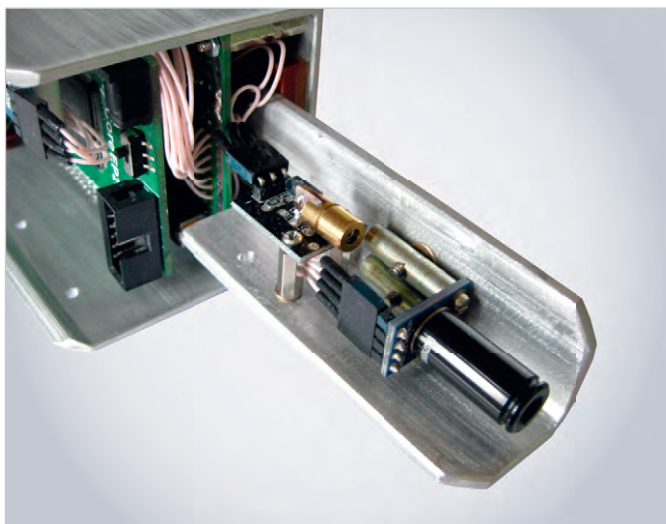
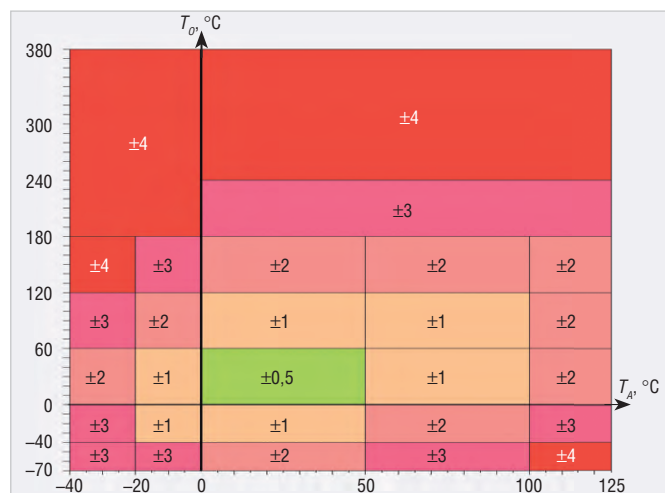


Рис. 4. Внешний вид датчика температуры MLX90614-ESF-DCI

Рис. 5. Зависимость величины точности измерения температуры объекта T_O от температуры окружающей среды T_A

узкой диаграмме можно рекомендовать применение в устройстве других, более дешёвых датчиков из семейства MLX90614, например MLX90614-ESF-DCF (угол 10°), MLX90614-ESF-DCC (угол 35°).

Заметим, что при смене датчика пирометр не потребует никаких доработок, поскольку все перечисленные выше датчики имеют одинаковые интерфейсы и набор команд.

Номинальное напряжение питания датчика MLX90614-ESF-DCI составляет 3,0 В, а типовой ток потребления 1,3 мА. Заводская калибровка датчика сделана при номинальном напряжении питания. При питании датчика напряжением 3,3 В, как это реализовано в предлагаемом устройстве, в результате измерений необходимо вносить поправку, о чём будет подробнее сказано далее.

Согласно заданным по умолчанию заводским настройкам, датчик MLX90614-ESF-DCI выдаёт данные во внешнее устройство и принимает от него команды по двухпроводной шине SMBus (аналог шины I²C) в качестве ведомого. Адрес ведомого устройства на шине SMBus для датчиков семейства MLX90614 жёстко задан производителем и равен 0x5Ah.

Поддерживаемый интерфейсом набор команд позволяет запрашивать и получать от датчика как итоговые (обработанные) результаты измерений для любого из каналов, так и «сырые» (необработанные). Помимо этого, набор команд позволяет производить пользовательскую настройку датчика, задавая, например, в качестве интерфейса вместо шины SMBus выход ШИМ, а также варьировать значения констант пределов измерения, другие параметры измерителей и схем обработки. Однако необходимо заметить, что при изменении заводских настроек параметров конфигурации измерителей и схем обработки пользователю потребуются проведение перекалибровки датчика.

Все пользовательские параметры датчика хранятся в доступной для чтения и записи встроенной энергонезависимой памяти EEPROM с ресурсом не менее 10 000 циклов записи/стирания. Текущие результаты измерений для всех каналов могут читаться из встроенной памяти RAM. Доступ к EEPROM и RAM осуществляется по шине SMBus.

Пирометр использует вычисляемые датчиком значения температу-

ры окружающей среды T_A , а также температуры удалённого объекта T_O . Точность измерения T_O у датчика зависит от температуры окружающей среды T_A . Зависимость величины точности измерения T_O от значения T_A , взятая из [4], показана на рисунке 5. Для того чтобы оценить точность измерения температуры объекта T_O во всём диапазоне допустимых значений при заданной температуре окружающей среды T_A , следует провести на графике вертикальную линию через заданное значение T_A , отсчитываемое по горизонтальной оси. Так, при $T_A = +25^\circ\text{C}$, точность измерения T_O по всему диапазону будет варьироваться от $\pm 0,5$ до $\pm 4^\circ\text{C}$. Из рисунка видно, что наилучшая достижимая точность измерения T_O , равная $\pm 0,5^\circ\text{C}$, обеспечивается в диапазоне T_A от 0 до $+50^\circ\text{C}$. Несмотря на такую сравнительно невысокую типовую точность в широком диапазоне, датчики, содержащие в обозначении букву D, в том числе MLX90614-ESF-DCI, поддерживают повышенную точность измерения в сравнительно узком, так называемом «медицинском» диапазоне температур T_O от $+22$ до $+40^\circ\text{C}$, что иллюстрируется рисунком 6. Это позволяет использовать их в быту в медицинских целях – для измерения с приемлемой точностью температуры поверхности тела.

Рекомендуемый производителем для внешнего устройства алгоритм получения значения температуры окружающей среды или удалённого объекта с помощью датчика семейства MLX90614 выглядит следующим образом.

Текущее измеренное и обработанное датчиком значение температуры T_A или T_O в виде 16-разрядного слова считывается внешним устройством по шине SMBus из RAM датчика по адресу 0x06 или 0x07 соответственно с помощью команды RAM Access. При этом младший разряд прочитанного слова соответствует дискрете температуры, равной $0,02^\circ\text{C}$. Если в старшем разряде прочитанного слова имеется логическая единица, это значит, что полученные данные являются ошибочными и не подлежат дальнейшей обработке. Для корректных данных T_O с нулевым старшим разрядом значение 16-разрядного слова, равное 0x27AD, соответствует значению температуры -70°C , а 0x7FFF – значению температуры $+382,19^\circ\text{C}$. После этого прочитанное значение данных делится на 50. Результатом будет значение

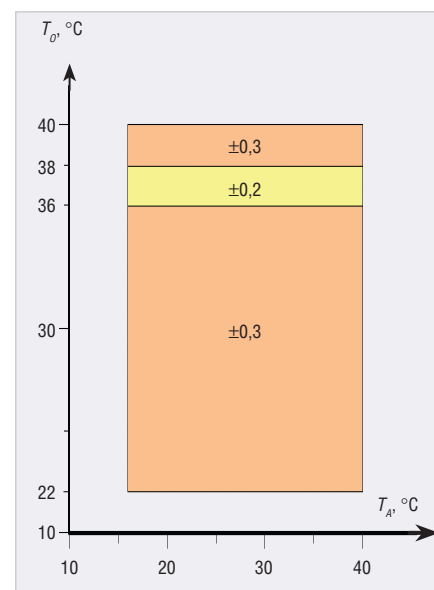


Рис. 6. Зависимость величины точности измерения температуры объекта T_O от температуры окружающей среды T_A в «медицинском» диапазоне

температуры в К. И наконец, для получения значения температуры в $^\circ\text{C}$ из полученного результата вычитается число 273. Если разность при этом получается отрицательной, значит, измеренная температура в $^\circ\text{C}$ является минусовой.

В случае если питание датчика осуществляется напряжением $U_{\text{пит}}$ отличным от 3,0 В, необходимо вычесть из результирующего значения температуры поправку $T_{\text{см}}$, определяемую по формуле:

$$T_{\text{см}} = (U_{\text{пит}} - 3) \times 0,6 [^\circ\text{C}] \quad (1).$$

Для $U_{\text{пит}} = 3,3$ В поправка $T_{\text{см}} = 0,18 \approx 0,2^\circ\text{C}$. Таким образом, для получения значения температуры в $^\circ\text{C}$ при $U_{\text{пит}} = 3,3$ В необходимо вычесть из результата деления на 50 число 273,2. Как было сказано ранее, заявленная производителем точность датчика не превышает $0,2^\circ\text{C}$, при том что его разрешающая способность равна $0,02^\circ\text{C}$. По этой причине при разработке измерителя температуры не имеет смысла вычислять и отображать её значение с точностью до сотых долей $^\circ\text{C}$, а вполне можно ограничиться десятными долями.

При получении измеренного значения температуры по шине SMBus датчик передаёт во внешнее устройство помимо двухбайтового значения T_A или T_O ещё один байт – циклический избыточный код CRC (Cyclic Redundancy Code), значение которого вычисляется в датчике с использованием образующего полинома $X^8 + X^2 + X + 1$ из данных всей посылки. То есть для

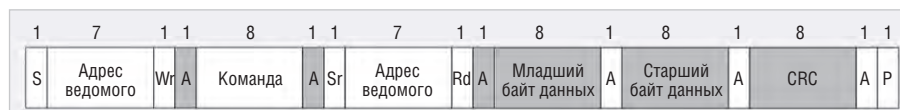


Рис. 7. Последовательность обмена данными на шине SMBus при чтении из датчика слова значения температуры

вычисления 8-разрядного значения CRC датчик использует три принятых им байта – адрес ведомого на шине с битом признака записи (Wt), команду, адрес ведомого на шине с битом признака чтения (Rd) – и два переданных им байта (младший и старший байты данных) – всего 5 байт. Иллюстрирующая сказанное последовательность обмена данными на шине SMBus показана на рисунке 7. Тёмным цветом на рисунке выделены данные, принятые от датчика. Входящие в состав последо-

вательности битовые поля S (условие «Старт»), P (условие «Стоп»), Sr (условие «Повторный старт»), A (бит подтверждения) при вычислении CRC не используются.

Внешнее устройство может никак не использовать принятый от датчика байт CRC, а может, в свою очередь, вычислить из данных посылки своё собственное значение CRC и сравнить с принятым, забраковав или пропустив принятые данные температуры по результатам такой про-

верки. Указанная проверка значительно повышает степень достоверности принятых данных, что может быть необходимым для ответственных приложений.

Во второй части статьи будут рассмотрены проект ПЛИС, наладка и регулировка пирометра, а также осуществление обмена данными с ПК.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.waveshare.com/wiki/CoreEP2C5>
2. https://www.waveshare.com/wiki/AT24CXX_EEPROM_Board
3. [https://www.waveshare.com/wiki/PL2303_USB_UART_Board_\(mini\)](https://www.waveshare.com/wiki/PL2303_USB_UART_Board_(mini))
4. <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>



НОВОСТИ МИРА

Новый автомобильный завод Haval оснащён роботизированными решениями ABB

Новый автомобильный завод марки Haval (автокonzерна Great Wall Motors) в Тульской области был оснащён роботизированными системами и современными промышленными решениями компании ABB, мирового технологического лидера в области промышленной автоматизации и решений для энергетики.

В цеху сварки было установлено более 70 роботов ABB высокой грузоподъёмности серий IRB 6700 и IRB 7600. Эти роботы необходимы для выполнения операций завальцовки навесных элементов и точечной сварки кузова, дуговой сварки, перемещения деталей.

Прессовый цех оснащён современной технологией – роботизированная высокоскоростная штамповка. ABB является мировым лидером данной технологии, которая отвечает за точность корпусных деталей автомобиля. На линии установлены роботы ABB специальной серии IRB 6660 PT для обеспечения автоматизированного процесса. Работы по запуску данной линии велись инженерами ABB Россия.

Роботы IRB 6700 считаются наиболее производительными в классе 150...300 кг с наименьшей стоимостью владения. Данные модели отличаются увеличенным межсервисным интервалом и возможностью быстрого сервиса. Жёсткая конструкция, а также электродвигатели и компактные редукторы нового поколения делают IRB 6700

чрезвычайно надёжными. Кроме того, этот робот потребляет на 15% меньше энергии, чем представители предыдущего поколения этой серии.



Робот IRB 7600 идеально подходит для операций, требующих высокой грузоподъёмности, вне зависимости от сложности работ.

Дизайн робота IRB 6660 PT в сочетании с широким радиусом действия (что обеспечивает высокую точность и непрерывную работу) прекрасно подходит для прессования деталей на предприятиях автомобильной отрасли. Скорость работы IRB 6660 PT высока для этого класса машин, за счёт чего обеспечиваются его короткие рабочие циклы. Кроме того, эти роботы обладают высокой производительностью и длительным сроком службы. Грузоподъёмность IRB 6660 PT варьируется от 100 до 130 кг.

Роботы ABB поставлялись в составе комплексного решения – производственных линий. Эксперты ABB также осуществляли сервисные услуги, консультирование и обучение сотрудников предприятия перед и после пуска нового завода – на месте и онлайн.

Завод Haval является наиболее автоматизированным автомобильным заводом в Рос-

сии с полным циклом производства. Главная сварочная линия автоматизирована на 100%. Роботы ABB являются ключевыми компонентами в этих процессах. Именно они обеспечивают столь высокий уровень автоматизации. Данное предприятие является ярким примером современного производства с минимальным участием человека.

Для проекта завода Haval были предложены комплектные распределительные устройства (КРУ) среднего напряжения с воздушной изоляцией UniSec 10 кВ, сухие трансформаторы DTE и RESIBLOC, низковольтные комплектные устройства в подвижном исполнении MNS 3.0, оборудованные автоматическими выключателями, которые способны интегрироваться с цифровыми решениями ABB Ability™, а также различные электроустановочные изделия.

Низковольтные комплектные устройства с возможностью подключения цифровых решений и сервисов дают предприятию уникальную возможность достичь высоких показателей эффективности и безопасности. Контроль в реальном времени, предиктивная аналитика, интеллектуальное управление энергопотреблением – всё это становится доступным благодаря цифровому портфолио ABB Ability™. Оно включает в себя более 180 цифровых решений на базе промышленного интернета, позволяющих создавать подключённые устройства, системы и сервисы, которые значительно повышают производительность, снижают затраты на обслуживание и потребление энергии.

Департамент корпоративных коммуникаций ООО «АББ»

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ



- + Выходные мощности:
1,5 / 1,7 / 2,7 / 3,4 и 5 кВт
- + Выходное напряжение от 10 до 600 В
- + Выходной ток от 2,6 до 500 А
- + КПД до 92% на полной нагрузке
- + Управление: LAN, USB, RS-232/485
- + Вес менее 7,5 кг, высота модуля 1U для 19" стойки
(модель на 1,5 кВт имеет размер 1/2 19" стойки)

- + GSP 10 кВт, GSP 15 кВт – готовые модули
с завода-изготовителя, состоящие из ведущего
модуля и одного или двух ведомых
- + Полный заводской контроль качества
и тестирование
- + Привлекательная цена



Блок управления ингаляторами для физиотерапевтического кабинета

Сергей Шишкин (schischckin.sergei2014@yandex.ru)

В статье приводится описание 12-канального блока управления, который позволяет контролировать 12 ингаляторов, представлены его схемотехника и алгоритм работы, а также рассказывается о схемотехнике и работе ультразвукового ингалятора.

Использование ингалятора является оптимальным способом доставки лекарственных препаратов в организм при заболеваниях органов дыхания. Ингаляторы позволяют осуществлять лечение и профилактику заболеваний верхних дыхательных путей с помощью аэрозолей на основе водных и спиртовых растворов лекарственных средств как в домашних условиях, так и в медицинских учреждениях. В настоящее время на рынке представлены паровые, компрессорные, ультразвуковые ингаляторы (последние два типа называют небулайзерами), у каждого из которых есть свои плюсы и минусы.

Конструктивно ингалятор состоит из распылителя и источника питания (блока управления). В некоторых конструкциях распылитель может быть встроен в источник питания. Внешний вид распылителя ультразвукового

ингалятора УП-3,5 «АРСА» показан на рисунке 1.

Лекарственное средство заливается в стакан распылителя, который закрывается крышкой, после чего устанавливается мундштук. В некоторых конструкциях вместо мундштука применяется удлинительная трубка с маской. Мундштук и маска являются сменными. Они применяются только в одной процедуре, а затем дезинфицируются.

В среднем в физиотерапевтических кабинетах используется от 8 до 12 ингаляторов 2–3 производителей. За установленный порядок в кабинете отвечает медсестра, которая заливает лекарственное средство в стакан распылителя, устанавливает мундштук (маску), включает ингалятор и вызывает пациента. После окончания процедуры пациент выключает ингалятор, снимает мундштук (маску) и кладёт его в специально приготовленный контей-

нер. После этого медсестра устанавливает новый мундштук, включает ингалятор и вызывает следующего пациента. По мере расхода лекарственного средства медсестра доливает его в стакан распылителя (при выключенном ингаляторе).

Представленный блок управления позволяет упростить и отчасти автоматизировать описанный процесс. На рисунке 2 приведена структурная схема управления всей системой.

Алгоритм работы системы рассмотрим на примере канала управления № 1, который управляет ингалятором № 1. Сетевые переключатели блока управления и источника питания ингалятора установлены в положение «I». Галетный переключатель «Канал» установлен в положение 1. Кнопками Δ и ∇ необходимо установить требуемый интервал ΔT работы ингалятора. Переключатель «Режим» следует установить в положение «БУ». Запустить (остановить) ингалятор можно кнопкой «Пуск/стоп», расположенной на передней панели блока управления, либо точно такой же кнопкой, расположенной на передней панели источника питания ингалятора. У включён-

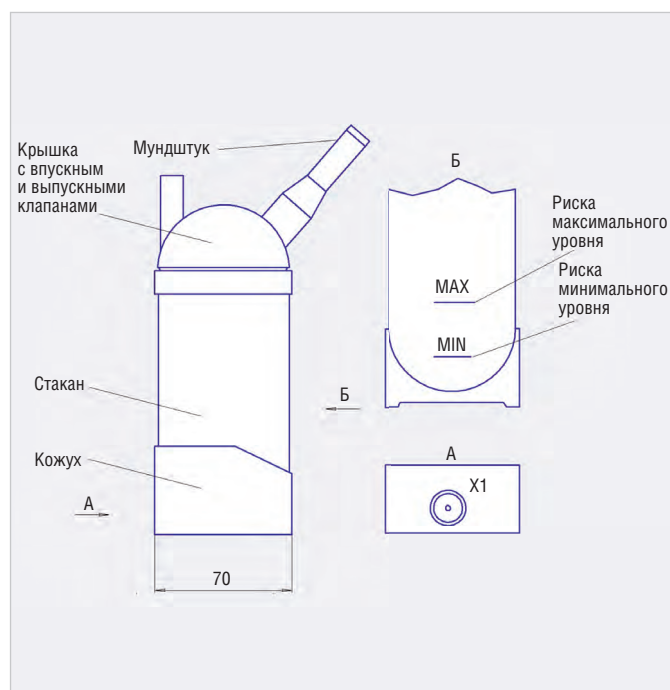


Рис. 1. Внешний вид распылителя ультразвукового ингалятора УП-3,5 «АРСА»

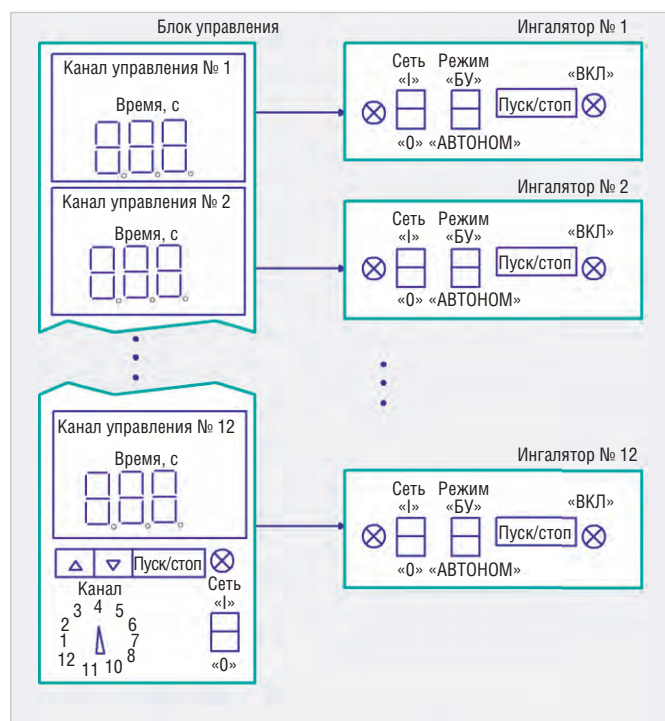


Рис. 2. Схема управления ингаляторами

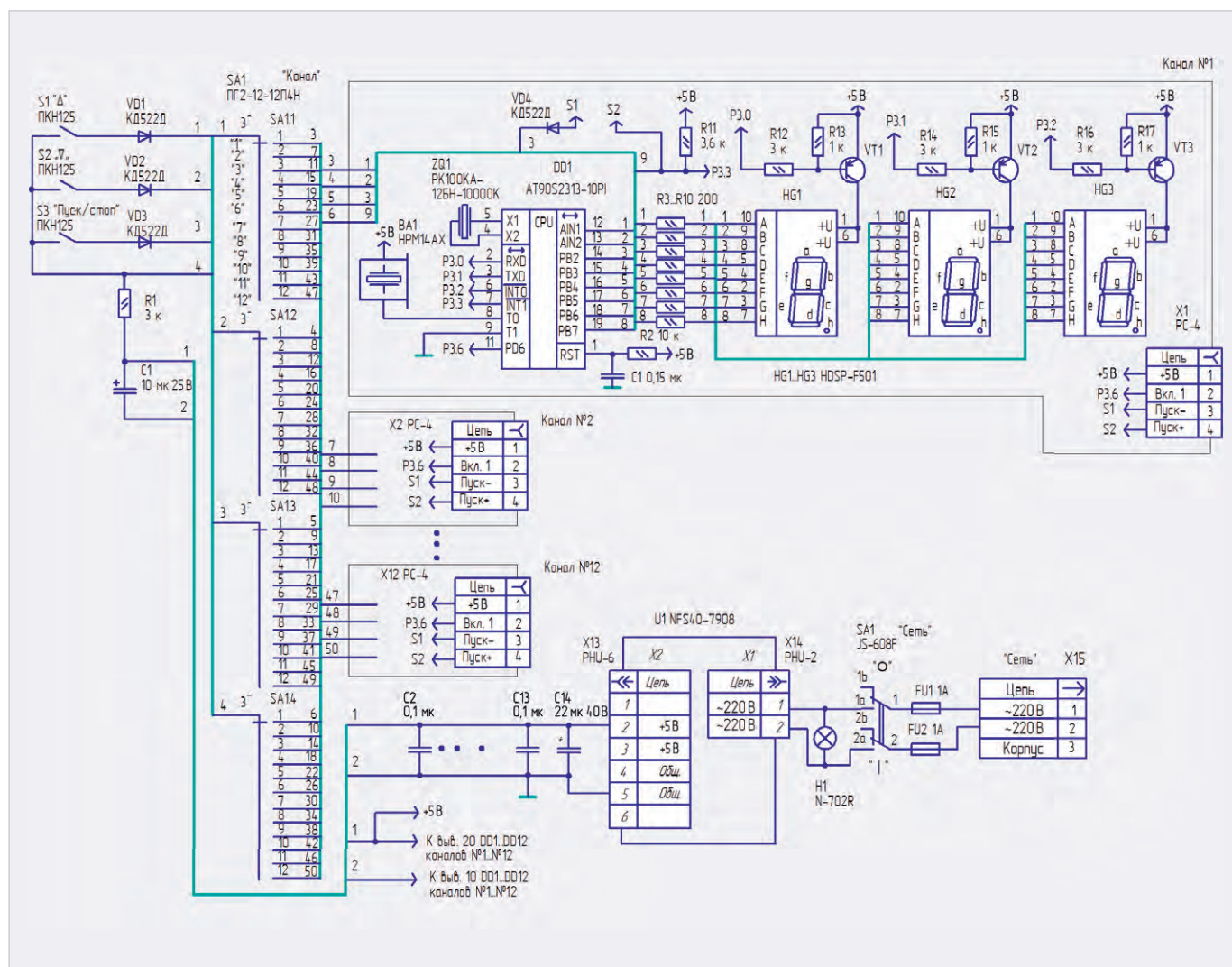


Рис. 3. Принципиальная схема блока управления

ного ингалятора загорается индикатор «ВКЛ». Заданное время ΔT индицируется на дисплее канала и декрементируется с каждой секундой. Как только оно станет равным нулю, ингалятор выключается, а индикатор «ВКЛ» гаснет. После этого на дисплее снова индицируется заданное значение ΔT . Снова запустить ингалятор можно кнопкой «Пуск/стоп» и т.д. Ингалятор будет работать непрерывно, если переключатель «Режим» установить в положение «АВТОНОМ».

На рисунке 3 приведена принципиальная схема блока управления.

Принципиальная схема доработанного ингалятора УП-3,5 «АРСА» представлена на рисунке 4.

Рассмотрим основные функциональные узлы и элементы блока управления. Он включает в себя 12 каналов управления (каналы № 1...№ 12), клавиатуру (кнопки S1...S3), галетный переключатель SA1, модуль питания U1. Каналы управления № 1...№ 12 идентичны по схеме, конструкции и алгоритму рабо-

ты. Фактически каждый канал представляет собой трёхразрядный таймер с обратным отсчётом времени. Время отсчитывается в секундах (от 1 до 999 с с дискретностью задания 1 с). Галетный переключатель SA1 типа ПГ2-12-12П4Н имеет 12 положений. Если SA1 установлен в положение 1, то клавиатура (кнопки S1...S3) подключена к каналу управления № 1. В этом случае можно задать параметры для канала управления № 1. Если же SA1 установлен в положении 2, то можно задать параметры для канала управления № 2, и т.д. Галетным переключателем SA1 клавиатура подключается к одному из 12 каналов управления № 1...№ 12.

В интерфейс блока управления входят сетевой выключатель SA2 «Сеть», сетевая лампочка H1, галетный переключатель SA1 «Канал», клавиатура (кнопки S1...S3) и блок индикации (дисплей) из трёх цифровых 7-сегментных индикаторов HG1...HG3 каждого канала. Кнопки клавиатуры имеют следующее назначение:

- S1 (Δ) – увеличение на единицу значения при установке времени таймера (в секундах); при удержании данной кнопки в нажатом состоянии более 5 с значение времени, индицируемое на дисплее, увеличивается на 5 единиц за 1 с;
- S2 (∇) – уменьшение на единицу значения при установке времени таймера (в секундах); при удержании данной кнопки в нажатом состоянии более 5 с значение времени, индицируемое на дисплее, уменьшается на 5 единиц за 1 с;
- S3 (C) – кнопка включения/выключения ингалятора; с нажатием данной кнопки начинается работа таймера: идёт обратный отсчёт заданного времени, на выводе 11 микроконтроллера устанавливается уровень лог. 0.

Канал № 1 выполнен на базе микроконтроллера DD1. С порта PA1 микроконтроллер DD1 опрашивает клавиатуру (кнопки S1...S3) и управляет динамической индикацией. Динамическая индикация собрана на транзисто-

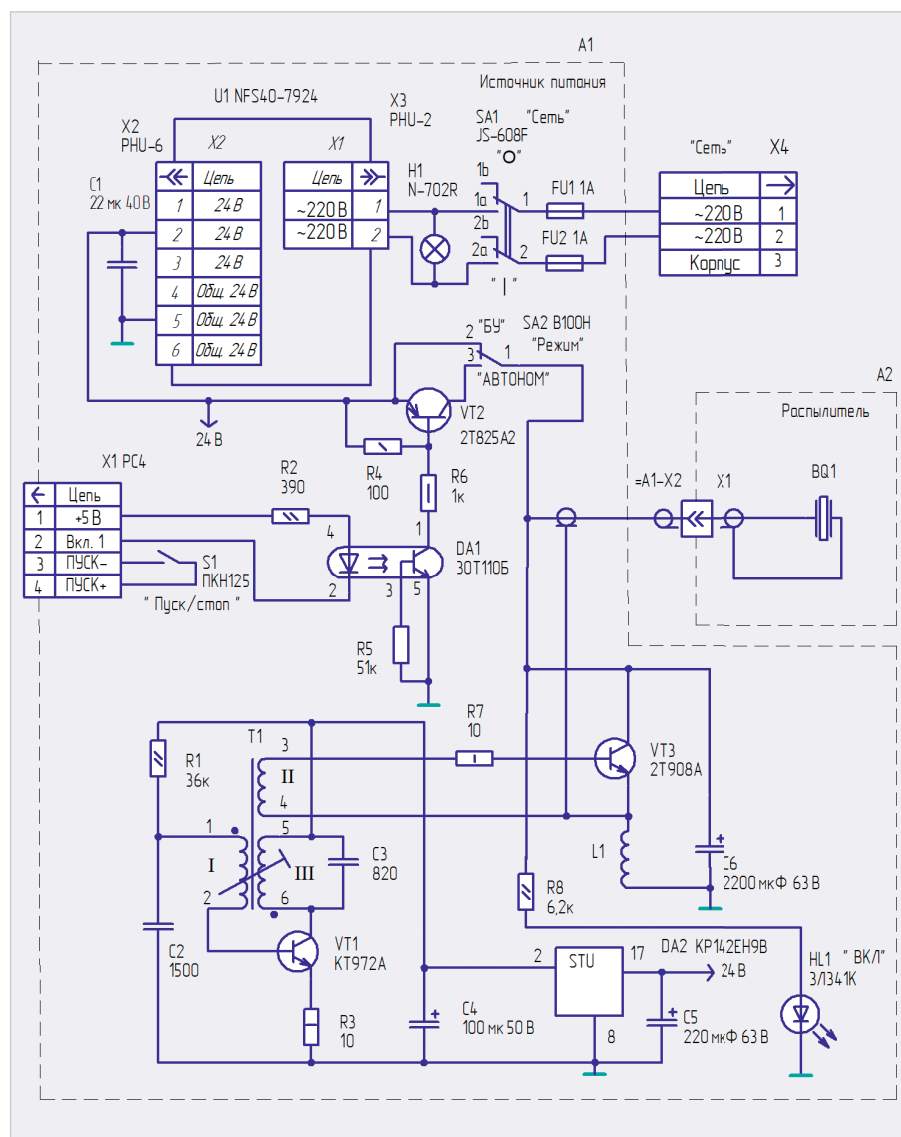


Рис. 4. Принципиальная схема доработанного ингалятора УП-3,5 «АРСА»

рах VT1...VT3, цифровых 7-сегментных индикаторах HG1...HG3. Резисторы R3...R10 – токоограничительные для сегментов указанных индикаторов. Коды для включения индикаторов HG1...HG3 при функционировании динамической индикации поступают на порт PB микроконтроллера DD1. Для функционирования клавиатуры и включения пьезоэлектрического излучателя BA1 задействованы выводы 7 и 8 микроконтроллера DD1 соответственно. Рабочая частота микроконтроллера задаётся генератором с внешним резонатором ZQ1 на 10 МГц. Сразу после подачи питания на выводе 1 микроконтроллера DD1 через RC-цепь (резистор R2, конденсатор C1) формируется сигнал системного аппаратного сброса микроконтроллера.

Разряды индикации интерфейса имеют следующее назначение:

- 1-й разряд (индикатор HG3) отображает единицы секунд;

- 2-й разряд (индикатор HG2) отображает десятки секунд;
- 3-й разряд (индикатор HG1) отображает сотни секунд.

Для перевода устройства в рабочий режим необходимо кнопками S1 (Δ) и S2 (∇) установить необходимый интервал времени для проведения процедуры ингаляции, при этом в таймере запрещается отсчёт текущего времени. Далее необходимо нажать кнопку S3 (C). Установленное время заносится в память микроконтроллера DD1. Если необходимо изменить заданное время, необходимо нажать кнопку S3 (C), после чего кнопками S1 (Δ) и S2 (∇) установить необходимый интервал времени и нажать кнопку S3 (C). Предусмотрена подача звукового сигнала длительностью 10 с в момент окончания отсчёта заданного времени (момент окончания процедуры), при этом на дисплее канала управления снова индицируется заданный ранее интервал. Для запуска

ингалятора в этом случае нужно просто нажать кнопку S3 (C).

Время, отображаемое на индикаторах HG1...HG3, декрементируется с каждой секундой. Программное обеспечение микроконтроллера полностью обеспечивает реализацию алгоритма работы таймера. Задача по формированию точных временных интервалов длительностью 1 с решена с помощью прерываний от таймера T/C1 и счётчика на регистре R25. Счётчик на регистре R21 формирует интервал, равный 1 мин. Таймер T/C1 формирует запрос на прерывание примерно через каждые 3900 мкс. Счётчики на данных регистрах подсчитывают количество прерываний, через каждую минуту устанавливается флаг (PUSK), и текущее время декрементируется. Через каждые 3900 мкс происходит отображение разрядов в динамической индикации устройства.

Программа состоит из трёх основных частей: инициализации, основной программы, работающей в замкнутом цикле, и подпрограммы обработки прерывания от таймера T/C1 (метки INIT, SE1 и TIM0 соответственно).

В основной программе осуществляются инкремент и декремент заданного значения времени. В подпрограмме обработки прерывания выполняются счёт одной секунды, опрос клавиатуры, включение световых и звуковых сигналов и перекодировка двоичного числа значений времени в код для отображения информации на 7-сегментных индикаторах.

В память данных микроконтроллера по адресам \$060...\$062 организован буфер отображения для динамической индикации. При нажатии кнопки S1 текущее значение времени на дисплее увеличивается на единицу и устанавливается флаг, разрешающий увеличивать текущее значение времени, индицируемое на дисплее. Одновременно запускается счётчик, выполненный на R1, формирующий интервал 5 с. Если кнопка удерживается в течение более чем 5 с, значение времени, индицируемое на дисплее, увеличивается на 5 единиц за 1 с. Интервал, в течение которого происходит увеличение времени, организован на регистре R0. При прекращении нажатия кнопки S1 все указанные счётчики обнуляются. Совершенно аналогичным образом организована работа кнопки S2 для уменьшения текущего значения времени, индицируемого

на дисплее: при нажатии кнопки S2 текущее значение времени на дисплее уменьшается на единицу; если кнопка удерживается в течение более чем 5 с, значение времени, индицируемое на дисплее, уменьшается на 5 единиц за 1 с. Счётчики приведённого алгоритма для кнопки S2 организованы на регистрах R3 и R2.

На R22 организован регистр знако-места. При инициализации в R1 загружается число 1, в Y-регистр загружается начальный адрес буфера отображения \$060. При этом на дисплее будет включён разряд единиц минут (единиц секунд). При каждом обращении к подпрограмме обработки прерывания содержимое регистра R22 сдвигается влево на один разряд, а Y-регистр инкрементируется. Как только значение 1 будет в третьем разряде регистра R22, все разряды будут выбраны, при этом в R22 снова нужно будет загрузить единицу, а в Y-регистр – начальный адрес буфера отображения.

В процессе обработки подпрограммы прерывания происходит опрос клавиатуры. Младшая тетрада выводимого при этом в порт В микроконтроллера байта для клавиатуры представляет собой код «бегущий ноль». После записи данного байта в порт В микроконтроллер DD1 анализирует сигнал на входе 7 (PD.3). В рамках указанной подпрограммы при любой нажатой кнопке на входе 7 микроконтроллера присутствует лог. 0. Таким образом, каждая кнопка клавиатуры привязана к своему разряду в младшей тетраде байта данных, выводимого в порт В микроконтроллера для опроса клавиатуры.

Разработанная программа на ассемблере занимает порядка 0,57 Кбайт памяти программ микроконтроллера.

Ингалятор УП-3,5 «АРСА» состоит из источника питания с сетевым шнуром, шнура, соединяющего его с распылителем, и распылителя. В источнике питания (см. рис. 4) расположен задающий генератор синусоидального напряжения ультразвуковой частоты, выполненный на транзисторе VT1 по схеме блокинг-генератора. Частотообразующей является цепь R1, C2, колебательный контур, образованный обмоткой III трансформатора T1 и конденсатором C3. Стабилизация частоты обеспечивается за счёт питания генератора стабилизированным напряжением +15 В. С обмотки I трансформатора T1 сигнал поступает

на базу транзистора VT1, на котором выполнен усилитель мощности. Резистор R3 служит для ограничения базового тока транзистора VT1. Выходной каскад выполнен на базе транзистора VT3.

Индикатор HL1 позволяет визуально контролировать наличие напряжения питания +24 В. В принципиальную схему штатного ингалятора добавлены следующие элементы: транзистор VT2, транзисторная оптопара DA1, переключатель SA2, кнопка S1, соединитель X1. На транзисторе VT1 и транзисторной оптопаре DA1 выполнен дистанционно управляемый ключ по напряжению питания 24 В. Для того чтобы его задействовать, необходимо установить переключатель SA2 в положение «ВУ». При установке переключателя SA2 в положение «АВТОНОМ» ингалятор начинает работать сразу после включения сетевого выключателя SA1.

Распылитель (A2 на рисунке 4) предназначен для заливки лекарственного средства и его распыления за счёт колебаний пьезоэлемента BQ1 с ультразвуковой частотой. Детали распылителя крепятся на кожухе. В кожух впрессована металлическая втулка, в которой закреплён пьезоэлемент BQ1. В кольцевой паз кожуха через прокладку вставляется стакан, который сверху закрывается крышкой. В верхней части крышки расположен штуцер, в который вмонтирован клапан мембранного типа.

При работе с ультразвуковым ингалятором необходимо обязательно учитывать следующие эксплуатационные ограничения. Не допускается применение лекарственных средств на основе масляных растворов и растворов с температурой выше +50°C. Категорически запрещается включать блок управления без подключённого к нему распылителя или с распылителем без лекарственного средства (пьезоэлемент BQ1 сразу выходит из строя). Запрещается наносить удары по пьезоэлементу, распылителю и блоку управления; также недопустимо их падение.

В ингаляторе транзисторы VT2 и VT3 следует установить на радиаторах. Площадь эффективной поверхности радиатора для транзистора VT3 составляет не менее 150 см². Микросхема DA2 также устанавливается на радиаторе. Площадь эффективной поверхности радиатора для неё составляет не менее 20 см². Вилка X4 входит в состав сетевого шнура ШВВП-ВП2х0,75-250-18-6-2,2-1. Розет-

ка X1 в распылителе типа BNC-7033 (GB-123). Ответная часть – штекер типа BNC-7101 (GS-1401). Распылитель подключается к источнику питания через кабель РК-50-2-11.

Резисторы типа C2-33Н-0.125; R3, R7 типа C2-33Н-1. Подойдут и другие с аналогичной мощностью рассеивания и погрешностью 5%. Конденсаторы C2, C3 типа K10-17а, конденсаторы C1, C4...C6 типа K50-35, дроссель L1 типа ДМ-2,4-20.

Модуль питания ингалятора U1 AC/DC типа NFS40-7924 «MEDICAL», модуль питания блока управления NFS40-7908 «MEDICAL». Они отвечают всем необходимым требованиям по электробезопасности (МЭК601-1) для изделий медицинской техники. К вопросу выбора (или разработки) сетевого модуля питания для изделия следует подойти особенно тщательно, потому что именно он в основном влияет на такие параметры изделия, как ток утечки на корпус, сопротивление цепи защитного заземления, электрическая прочность изоляции, уровень промышленных помех.

Обмотка I трансформатора T1 содержит 5 витков провода ПЭВ-2, обмотка II содержит 16 витков, а обмотка III – 7 витков. Их наматывают на каркас из полиамида с внешним диаметром 8,5 мм и длиной 15 мм. В центре каркаса имеется отверстие, в котором нарезана резьба М6х0,5. Трансформатор подстраивается ферритовым стержневым сердечником длиной 8 мм, который изготавливается из сердечника М2000НМ1-16ПС4,5х17 ПЯО.707.090ТУ. Сердечник вставляется во втулку, втулка с сердечником вкручивается в каркас. Потребление тока по каналу напряжения +15 В, не более 500 мА.

Номинальный ток предохранителей FU1, FU2 – 1,1 А, тип ВП1-1,1А (1,1А/250В). Держатели вставок плавких типа ДВП4-1в.

Настройка ингалятора заключается в установке резонансной частоты колебаний для пьезоэлемента BQ1. Для этого необходимо залить лекарственное средство в распылитель до риски максимального уровня, предварительно сняв верхнюю крышку с клапаном, включить ингалятор в режим максимальной производительности и вращением сердечника в каркасе трансформатора T1 (см. рис. 4) добиться появления аэрозольного облака в стакане распылителя.



Тахометр для квадрокоптера

Андрей Шабронов (shabronov@ngs.ru)

В статье приведено описание схемы, конструкции и программы для измерения скорости вращения двигателя квадрокоптера. Основное отличие от существующих прототипов [1] – использование инфракрасного датчика отражения, что позволяет безопасно проводить измерения и не задействовать конструкцию моторов. Вторым важным и отличительным достоинством является использование USB-UART-преобразователя с кварцевой стабилизацией сигналов (тахометр), что обеспечивает необходимую точность измерения и снижает стоимость устройства. Возможно применение тахометра в системах контроля: вентиляции, вращающихся элементов, крыльчаток и т.п.

ВВЕДЕНИЕ

Для измерения скорости вращения требуется фиксировать количество оборотов за фиксированный интервал времени, например, в одну секунду.

Инфракрасный датчик фиксирует перемещение лопасти. Лопасть отражает фотопоток, датчик регистрирует это своим выходным напряжением. Есть фотопоток – напряжение на выходе высокое, нет фотопотока – напряжение низкое.

Для получения фиксированного интервала времени с учётом перемещений лопастей используется передача блока известных байтов (0xFF) и приём этого же блока байтов, но с модуляцией через логический элемент типа «исключающее ИЛИ» (сокращенно «И–ИЛИ») от инфракрасного датчика. Свойство логической функции «И–ИЛИ» – выделять «разностный» код, который формирует на приёме тот же блок, но байты, которые попадают в интервал с фотопотоком, инвертируются (0x00). Таким образом, принимаемый блок содержит информацию о количестве пересечений. Время измерения определяется умножением количества байтов на скорость передачи байтов.

Блок передаётся на «машинном уровне» компьютера и не прерыва-

ется другими подпрограммами USB-интерфейса, поэтому он точный по времени. Между блоками временной интервал может быть различный.

Для используемого типа USB-UART [2] максимально возможный блок передачи-приёма составляет 1 кбайт (4096 байт). Для скорости 100 кбит/с время измерения составит около 0,4 с. При разделении фотопотока по 3...4 байта получаем максимальное число возможного учёта, а именно: $4096/(4+4)=512$ пересечений.

В данном примерном расчёте суммирование в 2 раза означает, что 3...4 байта фотопотока проходит, а следующие 3...4 байта нет. Это и есть период пересечения. Абсолютная ошибка составляет один байт. В процентах это $1/4096 \times 100\% = 0.02\%$.

Оценим предельные параметры измерения. Мотор квадрокоптера рассчитан на максимальную работу до 12 000 оборотов в минуту, следовательно, выполняет $12\,000/60=200$ об/с, а за 0,5 с это 100 оборотов. Таким образом, предел измерения на данной скорости передачи и размере блока превышает возможный предел для мотора квадрокоптера более чем в 5 раз.

Приведённый пример расчёта показывает, что точность измерения можно

определить математически. Другой способ – сравнить с аналогичными приборами и тахометрами.

Важно при оценке погрешности измерений оценить параметры датчика фотопотока. Поскольку, возможны ситуации «засвечивания» от посторонних и рядом расположенных элементов конструкции.

В приведённой далее программе для увеличения точности измерений используются метод накопления среднего значения и расчёт дисперсии среднего значения.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ТАХОМЕТРА

Предлагаемая схема тахометра построена на трёх самостоятельных конструктивных элементах: адаптер USB-UART [2], датчик фотопотока для ARDUINO и одна логическая микросхема, которая формирует функцию «И-ИЛИ» (555ЛА3). Схема измерителя представлена на рисунке 1.

Для формирования функции «И-ИЛИ» применена распространённая микросхема 555ЛА3 с 4 элементами 2И-НЕ. Функцию «И-ИЛИ» формирует включение всех её элементов. Вполне возможно использовать и микросхему 555ЛП5, которая содержит четыре элемента «И-ИЛИ». В этом случае задействуется один и не используются три элемента.

Питание всех компонентов осуществляется по USB-шине компьютера. Потребляемый ток не более 100 мА.

На рисунке 2 представлены диаграммы сигналов на входе и выходе «И-ИЛИ» при приёме данных пересечений фотопотока фотоприёмником. Сигналы 1-й и 2-й диаграмм – это передаваемый блок в точке TXD UART. Сигнал 3-й диаграммы – принимаемый сигнал от фотоприёмника D0, который поступает на входы 1 и 13 микросхемы U1 (см. рис. 1).

Сигналы 4-й и 5-й диаграмм – это сигнал с модуляцией по «И-ИЛИ» с вывода 6 микросхемы U1, который поступает на вход RXD UART.

Сигналы диаграмм 1, 2 и 4, 5 одинаковые, но представлены в разных масштабах для уточнения метода преобразования. Стрелками указано место увеличенного масштаба отображения.

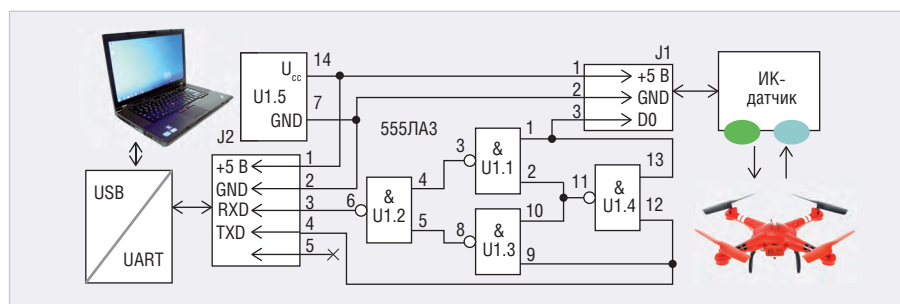


Рис. 1. Схема измерителя (тахометра)

На диаграммах не приводятся крайние искажения отклонения начала сигнала фотоприёмника и передаваемого блока. Это один байт в интервале от 0 до 0xFE, его можно считать как началом, так и окончанием сигнала фотодатчика. Этот байт учитывается программно.

Конструкция тахометра

Использование готовых блоков в виде маленьких печатных плат позволило сделать измеритель в виде небольшой «указки» из кабель-канала с проводом от USB (см. рис. 3).

Жёлтыми линиями на рисунке 3 указаны проводные соединения. Монтаж выполняется пайкой изолированным проводом типа МГТФ. Элементы крепятся на суперклей. Монтажные провода фиксируются с помощью клеевого пистолета.

Предлагаемая конструкция рассчитана на ручное считывание при приближении к вращающимся объектам. Конструкция может быть дополнена креплениями для фиксации измерителя или другими необходимыми элементами.

Программа тахометра

Вид окна предлагаемой программы [3] представлен на рисунке 4.

Программе требуется открыть устройство с доступом к UART. На скане экрана (см. рис. 5) приведён фрагмент диспетчера устройств с подключением на порт 9.

Программа имеет статус «как есть», в ней представлены:

- подсчёт пересечений фотопотока за время передачи блока, среднее значение вращения за секунду (минуту) и дисперсия средних значений за период измерений;
- запись данных в файловый архив и программа анализа графиков на макросе в Excel;
- средства контроля, анализа и визуализации настройки фотоприёмника, цветовые настройки окна;
- имитатор фотоприёмника;
- исходный текст, компилятор языка Форт [4], файл справки по командам языка Форт;
- файл справки управляющих клавиш, настройки быстрого запуска и выбора режимов.

Программа подготовлена на языке программирования Форт [4]. Текст и компилятор языка «извлекаются» из приложения *tabometr_ot_uart_v1.exe* [3], после чего выполняется подготовка нового

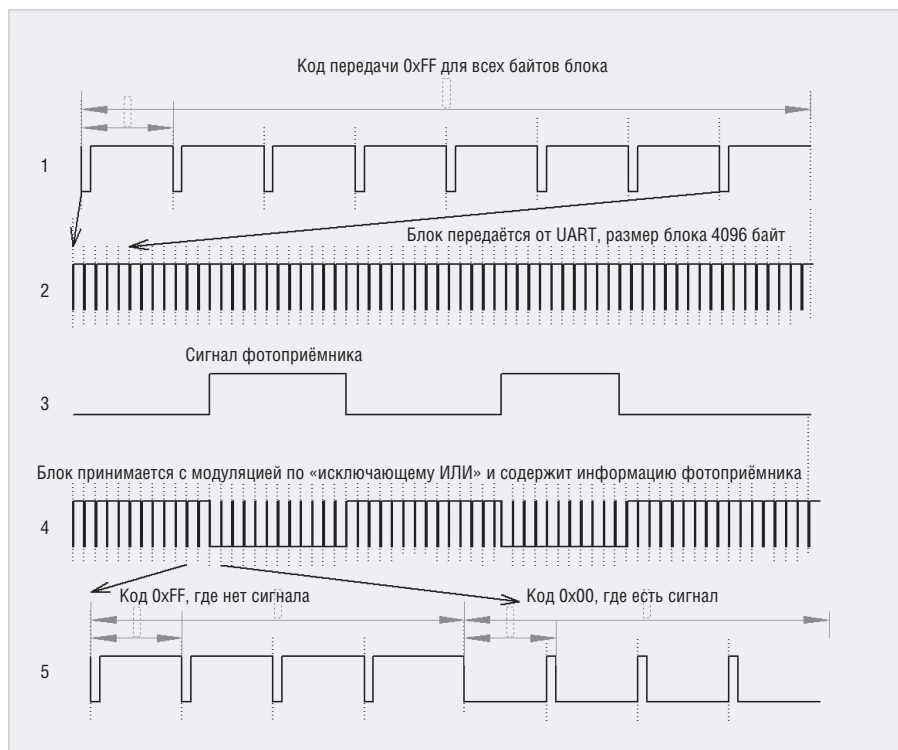


Рис. 2. Диаграммы преобразования кодов передачи-приёма измерителя

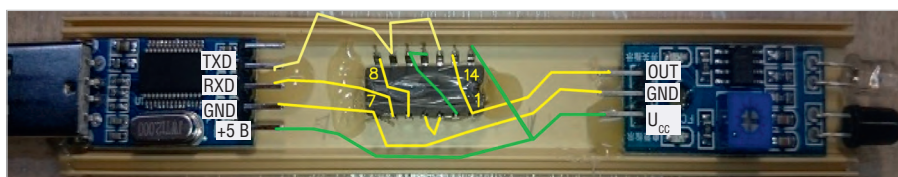


Рис. 3. Фотография конструкции измерителя с расположением составных блоков до монтажа

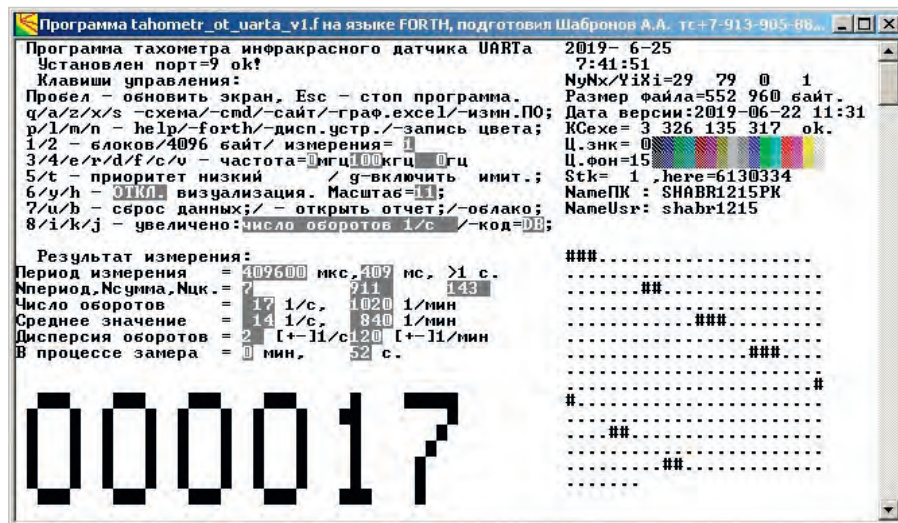


Рис. 4. Окно программы измерителя оборотов

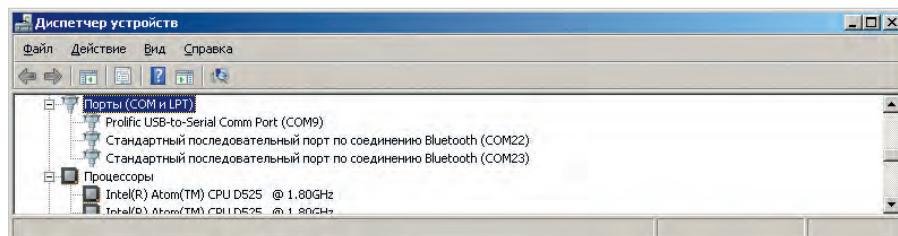


Рис. 5. Фрагмент диспетчера устройств с подключением на порт 9

исполняемого файла. В файле приложения находятся все файлы для возможной дальнейшей модернизации программы измерителя (тахометра).

Программное обеспечение доступно всем желающим и представлено в виде текстового файла *tabometr_ot_uart_v1.f*. [3]. Файл открывается «Блокнотом», шрифт «Терминал», кодовая страница 866 OEM (русский язык) или любым текстовым редактором с той же кодировкой. Программа не требует установки и сформирована для работы на операционных системах Windows XP/7/8/10 32/64.

Выводы

Очевидным достоинством предложенной схемы измерения является способ измерения без изменения конструкции измеряемого объекта вращения на основе фотопотока.

Вторым достоинством измерителя является «кварцевая» точность измерения и сравнительно низкая цена исходных компонентов.

Третьим достоинством измерителя можно считать совместимость с компьютером и возможность оперативной обработки данных. Все получаемые в процессе измерения данные одновременно доступны для

«интеллектуальной обработки», сигнализации и других задач объекта вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Счётчик оборотов (прототип): <http://meandr.org/archives/24773>.
2. Адаптеры UART https://ru.aliexpress.com/price/usb-uart-adapter_price.html.
3. Программа тахометра: http://shabronov_s2.dyn-dns.ru/temp/uart_ik_tahometr_v1/test/tahometr_ot_uart_v1.zip.
4. Описание языка Форт spf4.exe (автор версии А. Чепезов): <http://www.forth.org.ru/>.
5. Интерфейсы UART: https://musbench.com/e_digital/uart.html.



НОВОСТИ МИРА

КАЛИНИНГРАДСКИЙ СТАРТАП НАЛАЖИВАЕТ ВЫПУСК УМНЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ

Технология компании «НеоХоум» в онлайн-режиме обеспечивает сбор информации о состоянии бытовой техники. Первая партия холодильников, оснащённых такой функцией, поступила в торговые сети страны.

Умная техника помогает экономить электроэнергию, отслеживая время открытой дверцы холодильника, и формирует «Профиль питания» для желающих вести здоровый образ жизни. Пользователи, присматривающие за престарелыми или больными людьми, могут настроить сигнал о том, что их подопечные вовремя взяли из холодильника необходимый

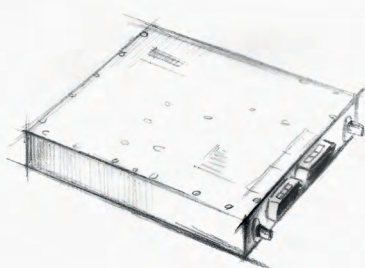
продукт или лекарство. В комплект входят датчики дыма, которые оперативно направят на телефон сообщение о задымлении в помещении.

«НеоХоум» специализируется на создании программного обеспечения для умной бытовой электронной техники, различных элементов умного дома.

Новости Интернета вещей

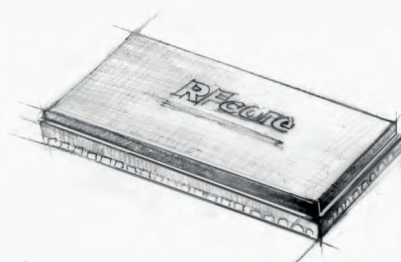


НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



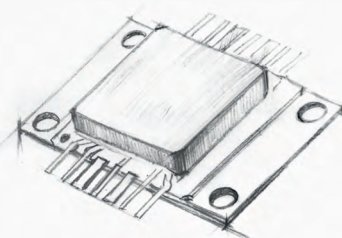
СВЧ-усилители мощности

- Диапазон частот: от HF до Ku
- Выходная мощность: 2...1000 Вт
- Типовое усиление: 25...65 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40 В



Многофункциональные CMOS MMIC

- Диапазон частот: S, C, X, Ku
- Выходная мощность: до 15 Вт
- Исполнение: QFN-корпус



GaN и GaAs MMIC

- Диапазон частот: 2...18 ГГц
- Выходная мощность: до 12 Вт
- Типовое усиление: 10...23 дБ
- Исполнение: QFN-корпус/кристалл

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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

Реклама

НОВОСТИ МИРА

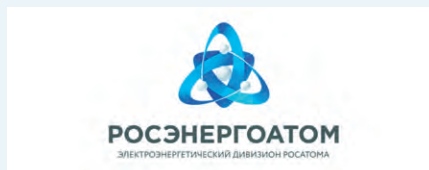
«РОСЭНЕРГОАТОМ» ПОДПИСАЛ СОГЛАШЕНИЕ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ С АССОЦИАЦИЕЙ УЧАСТНИКОВ ОТРАСЛИ ЦОД

Концерн «Росэнергоатом» (входит в Электроэнергетический дивизион Госкорпорации «Росатом») подписал соглашение о сотрудничестве с Ассоциацией участников отрасли ЦОД. Об этом заявил 20 сентября на открытии Международного саммита Ассоциации участников отрасли ЦОД президент Ассоциации Игорь Дорофеев.

Предметом соглашения является координация деятельности по совершенствованию условий реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации», а также эффективное развитие рынка ЦОД, формирование качественных и надёжных сервисов, оказание помощи российским поставщикам услуг и производителям оборудования ЦОД.

Международный саммит Ассоциации участников отрасли ЦОД проходил в Удомле 19–21 сентября на территории ЦОД «Калининский» (расположенный на площадке Калининской АЭС). Концерн «Росэнергоатом» выступил генеральным партнёром саммита. В работе международного саммита приняли уча-

стие около 150 делегатов, в том числе представители российских дата-центров, крупного корпоративного бизнеса, международные эксперты, производители инженерного оборудования. Ключевыми темами саммита стали цифровая экономика и система национальных стандартов для рынка ЦОД, лучшие практики по созданию гипер-дата-центров, рынок облачных услуг в России, практики эксплуатации ЦОД в России и за рубежом.



«Большинство крупных ЦОД сейчас сосредоточены, как правило, в Москве, Санкт-Петербурге и других крупных городах, но если возникает какая-то локация в регионах, то вокруг этого места возникают новые возможности, появляется синергетический эффект. Интерес к ЦОД «Калининский» связан как с объектом, так и оператором дата-центра. Передовые международные компании, которые являются генератором трафика, привлекают большое количество бизнеса, на-

пример, Google, Facebook и другие, готовы экспериментировать, вкладываться в новое IT-производство. И все передовые, прорывные технологии появляются как раз у таких компаний. Росэнергоатом, в моём представлении как президента Ассоциации, также может стать таким игроком. Это очень интересный объект, который может стать драйвером в развитии отрасли ЦОД», – отметил Игорь Дорофеев.

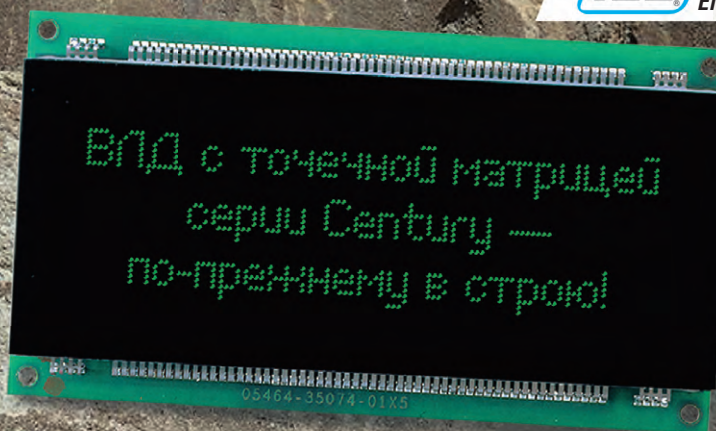
«Задача максимальной защиты огромного массива критических данных, таких как персональные данные, биометрия, данные государственных систем, может быть идеально обеспечена в ЦОД на площадке рядом с атомной электростанцией, обеспечивающей надёжное и бесперебойное энергоснабжение и беспрецедентный уровень безопасности. Наше сотрудничество с Ассоциацией участников отрасли ЦОД – это, прежде всего, обмен мнениями, взаимовыгодное сотрудничество и экспертная поддержка в этой высокотехнологичной отрасли», – прокомментировал Сергей Мигалин, заместитель генерального директора, директор по экономике и финансам Концерна «Росэнергоатом».

Новости Интернета вещей

ВАКУУМНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИСПЛЕИ ДЛЯ ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

- Яркость 600 кд/м²
- Угол обзора 150°
(конусный)
- Встроенные
контроллеры
управления
- Символы высотой
5 и 9 мм
- Вибрации от 10 до 500 Гц
- Удары до 20 г
(по каждой оси)
- Ресурс от 40 000
до 100 000 часов
- Диапазон рабочих
температур -40...+85°C

IEE INDUSTRIAL
ELECTRONIC
ENGINEERS



ProSoft®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Росатом

Разработка моделей для проектирования усилителей мощности в NI AWR Design Environment

Валерия Брюнель, Эрик Леклерк (UMS),
Дэвид Вай (AWR Group, National Instruments)

Современные системы автоматизированного проектирования предлагают широкие возможности для создания и верификации моделей активных компонентов. В статье описывается процесс создания таких библиотек с учётом особенностей техпроцесса GH25 в САПР NI AWR Design Environment.

Прогрессивные полупроводниковые технологии играют важную роль в высокочастотных системах связи новых поколений, основной тенденцией развития которых является переход в область волн миллиметрового диапазона. Поддержка процессов проектирования и доступность моделей, соответствующих этим полупроводниковым технологиям – ключевой фактор успешной разработки устройств и компонентов. В свою очередь, системы автоматизированного проектирования должны тесно сотрудничать с ведущими производителями для обеспечения высокой интеграции программного обеспечения и особенностей техпроцессов, а также способствовать сокращению временных и материальных затрат на разработку устройств.

Ниже описывается процесс создания, верификации и применения моделей активных устройств на основе широкозонных соединений A3B5 производства United Monolithic Semiconductors (UMS), а именно – техпроцесса GH25 (GaN на карбиде кремния, длина затвора 0,25 мкм), предназначенного для

создания усилителей мощности миллиметрового диапазона в современных системах связи и радиолокации. Точность создаваемых моделей проверяется путём симуляций и измерений тестового проекта, разработанного при помощи специализированной библиотеки GH25 в составе NI AWR Design Environment.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НИТРИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Короткозатворные транзисторы из нитрида галлия уже зарекомендовали себя как перспективные устройства для усилителей мощности миллиметрового диапазона волн. Благодаря более высоким рабочим напряжениям и меньшим паразитным компонентам, нитридные транзисторы обеспечивают более высокие рабочие мощности, более широкую полосу и больший коэффициент преобразования по сравнению с их аналогами из арсенида галлия. Для того чтобы получить возможность использовать перечисленные преимущества, разработчикам необходимы масштабируемые модели для схемотехническо-

го анализа, максимально точно соответствующие реальному поведению устройства.

Существует три основных типа моделей активных устройств для использования в симуляции: физические, поведенческие и компактные. Физические модели учитывают физику работы устройства для описания его характеристик, но слишком сложны для применения в моделировании. Поведенческие модели обычно используются в системном моделировании для расчёта параметров системы в целом, рассматривая её как некий «чёрный ящик», но они недостаточно точны и подробны для учёта многих важных особенностей усилителей.

Компактные модели можно назвать компромиссным методом, поскольку они используют подстройку математических функций и значений параметров для наиболее точного повторения измеренных характеристик реального устройства, таких как ВАХ в импульсном режиме или параметры рассеяния (S-параметры). Разумеется, очень важно, чтобы модель повторяла отклик транзистора во всём рабочем диапазоне с достаточной точностью, чтобы обеспечить надёжное представление устройства во время симуляции. Математические параметры модели являются эмпирическими, однако в них должны быть учтены базовые физические закономерности для того, чтобы сделать возможной качественную экстраполяцию данных при выходе за установленные рабочие рамки модели.

Подстройка параметров компактной модели в соответствии с результатами измерений позволяет создавать целые библиотеки, которые в дальнейшем используются в таких САПР, как NI AWR Design Environment для моделирования сложных монолитных интегральных схем, в состав которых входят рассматриваемые устройства, а также соответствующие схемы питания и согласования в условиях возбуждения высокочастотными сигналами. Библиотеки также включают в себя информацию об электрических, физических и топологических характеристиках, обе-

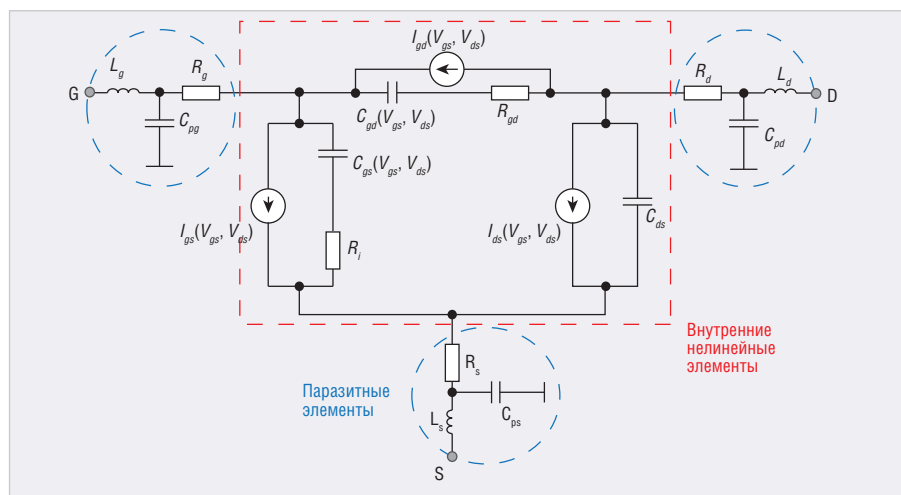


Рис. 1. Эквивалентная схема транзистора с внешними паразитными элементами

спечивая разработчика полным набором инструментов для проектирования монолитных интегральных схем (МИС) на основе GaN или GaAs.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТЕХПРОЦЕССА (PDK)

Правильное описание активного устройства для построения масштабируемой модели транзистора – самый важный этап создания библиотеки. Масштабируемая модель позволяет разработчику варьировать периферию (ширину и число выводов затвора) для получения нужных характеристик. Поэтому разработка модели должна учитывать диапазон возможных состояний периферии и рабочих точек транзистора.

В статье рассматривается процедура моделирования, основанная на получении параметров устройства из измерений, экстракции моделей через эмпирическую подстройку и верификацию при помощи схемотехнического моделирования. На основе таких моделей строятся библиотеки, включающие также модификации устройств для различных применений, включая маломощные усилители, усилители высокой мощности и переключатели.

ЭКСТРАКЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Стандартная эквивалентная схема компактной модели транзистора представлена на рисунке 1 и включает в себя внешние линейные и внутренние нелинейные элементы. Внешние паразитные элементы транзистора (R , L и C) необходимы для вычета из S-параметров при переходе к внутренней опорной плоскости транзистора и для экстракции внутренних компонентов ($C_{\text{зи}}$, $C_{\text{зс}}$, g_m , g_d , $C_{\text{си}}$, R_d , $R_{\text{с}}$) при помощи уравнений в явном виде. Точная экстракция паразитных элементов основана на результатах измерений S-параметров полевого транзистора в холодном режиме ($V_{\text{си}} = 0$) и электромагнитном анализе гребёнок транзистора.

Следующим шагом является определение значений параметров внутренних элементов. В случае нитридных устройств основными источниками нелинейности являются источник тока сток-исток и ёмкости затвор-исток и затвор-сток, а также входной диод Шоттки.

Помимо этого, транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT) подвержены влиянию ловушек – состояний в полупроводниках типа GaN, ограничивающих дырочную

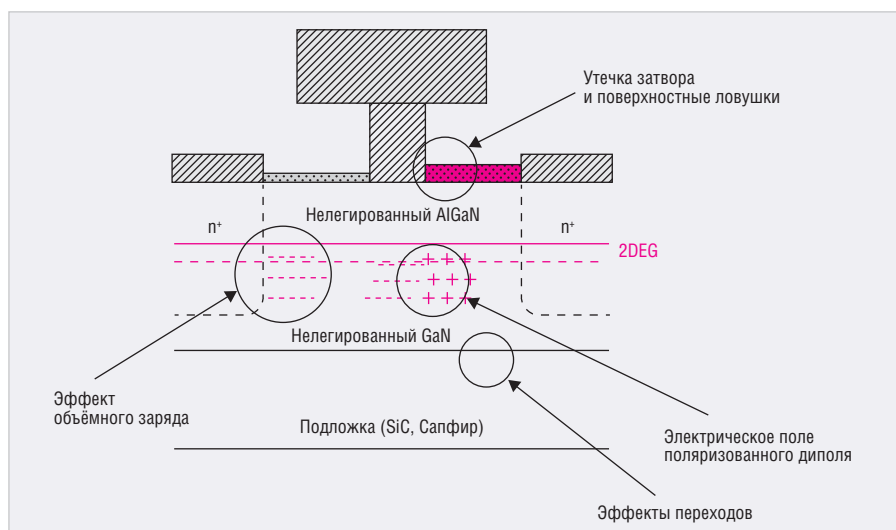


Рис. 2. Положения ловушечных центров в широкозонных полупроводниках на примере GaN-HEMT

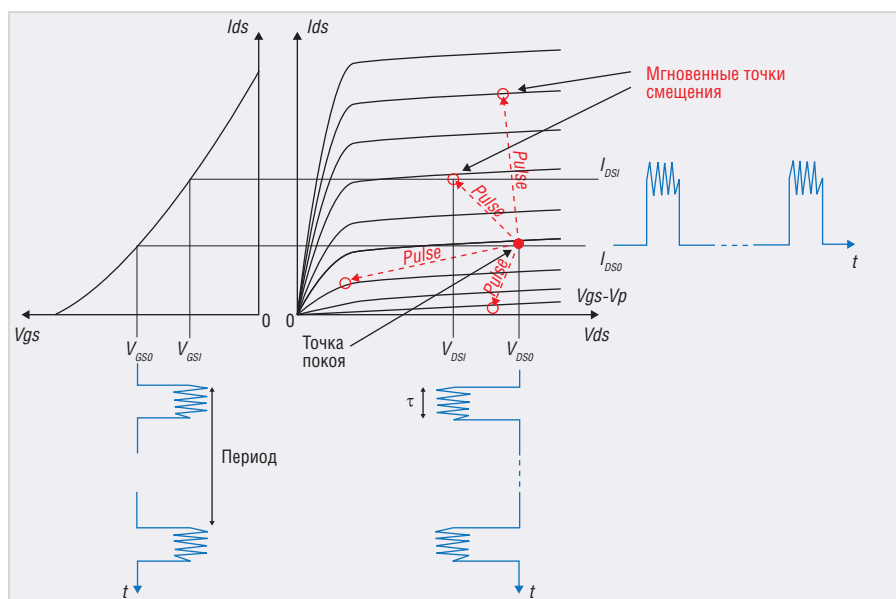


Рис. 3. Импульсный метод измерений

проводимость за счёт неоднородностей кристаллической решётки и оборванных связей на поверхности полупроводника или на переходах между слоями (см. рис. 2) [1]. Эти ловушечные центры формируют паразитные области объёмного заряда, влияющие на плотность двумерного электронного газа [2].

В AlGaIn/GaN-транзисторах существует множество различных явлений, связанных с наличием ловушечных состояний. В частности, эффект запаздывания тока, который зависит от напряжения смещения стока и температуры канала. Для его учёта применяют квази-изотермические ВАХ и S-параметры в импульсном режиме. Методика заключается в измерении S-параметров во время действия коротких импульсов с высокой скважностью,

позволяющих не допускать значительного нагрева. Благодаря этому мгновенные значения смещений затвора и стока перемещаются из точки покоя таким образом, чтобы точнее описывать рабочие характеристики транзистора без изменения заданных начальной рабочей точкой температурных и ловушечных параметров (см. рис. 3). Полученные таким образом данные используются для формирования компактной модели на основе разработанных уравнений, позволяющих с высокой точностью рассчитывать производные тока стока и паразитных зарядовых ёмкостей в широком диапазоне напряжений стока и затвора.

ПРОВЕРКА МОДЕЛИ

Созданная компактная модель верифицируется путём сравнения резуль-

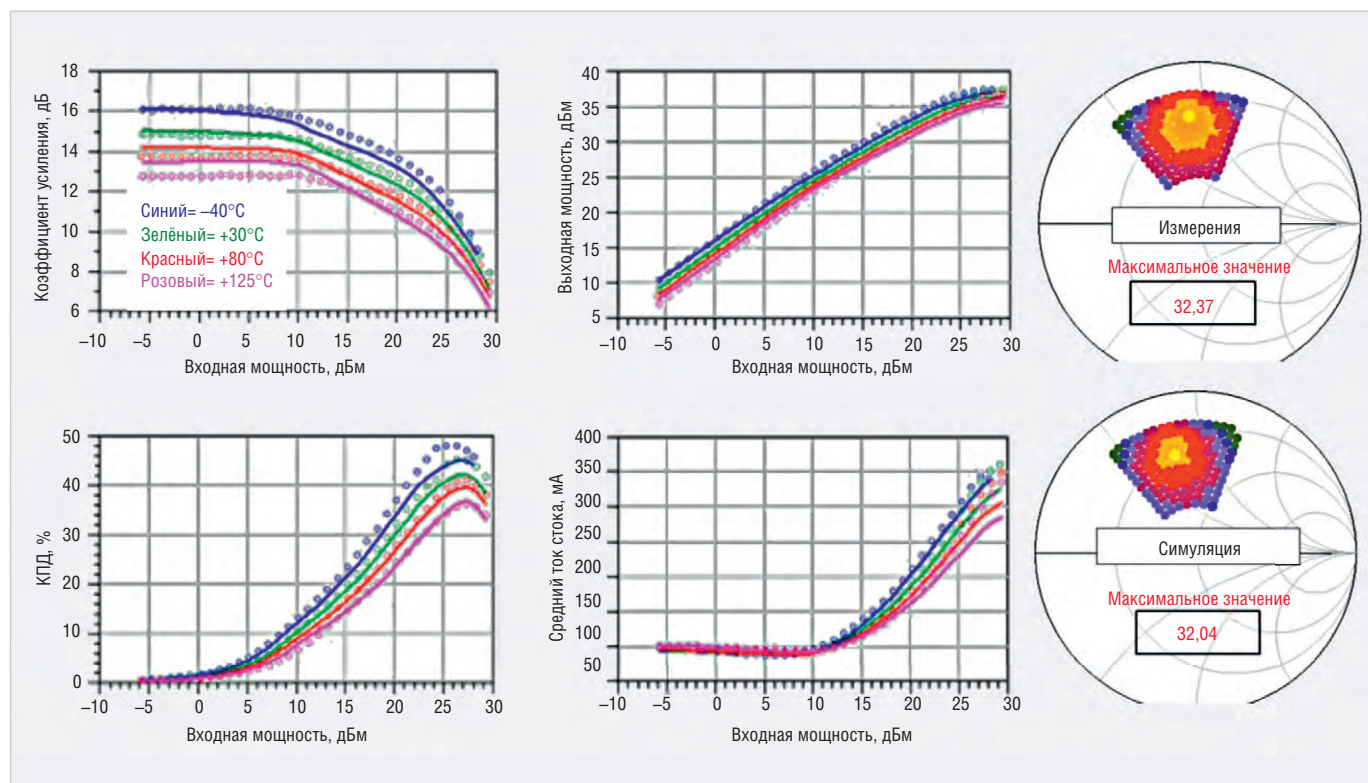


Рис. 4. Проверка модели гетероструктурного полевого транзистора GH25-10 на частоте 10 ГГц

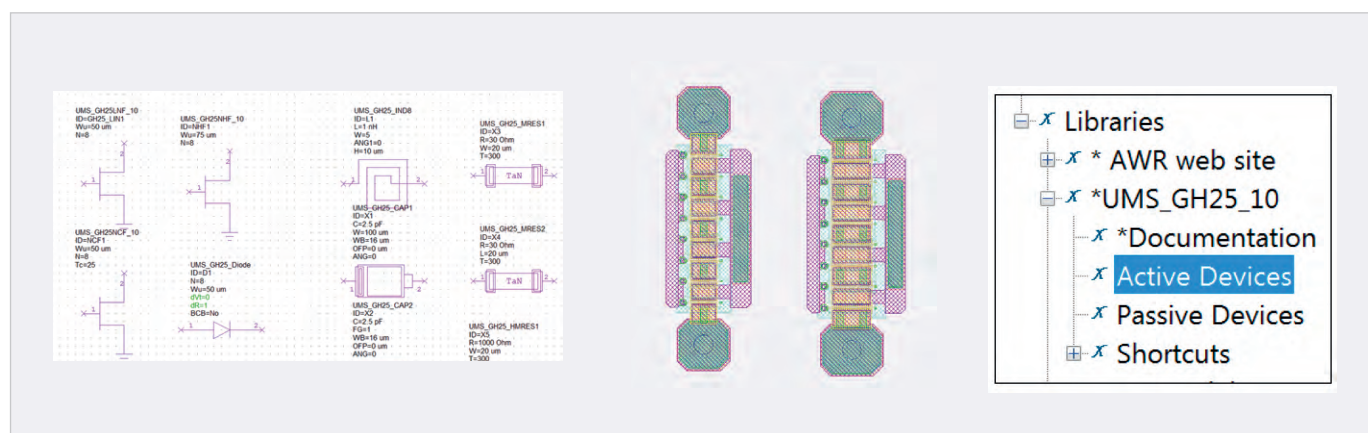


Рис. 5. Различные компоненты библиотеки UMS GH25 в NI AWR Design Environment

татов моделирования с результатами измерений для нескольких рабочих точек и конфигураций затвора (от 2×30 мкм до 10×300 мкм для технологии 0,25 мкм).

Для проверки способности модели предсказывать характеристики транзистора при разных значениях импеданса нагрузки были проведены load-pull измерения. Для каждой конфигурации транзистора были проведены измерения при разных напряжениях смещения, уровнях входной мощности и частотах сигнала. Результаты load-pull измерений можно легко сравнить с результатами симуляции в Microwave Office благодаря развитой поддержке load-pull моделирования.

На рисунке 4 представлены результаты сравнения измерений и моделиро-

вания таких параметров, как коэффициент усиления, выходная мощность, КПД и ток стока на частоте 10 ГГц. Как видно из графиков, результаты измерений отлично совпадают с данными моделирования для четырёх значений температуры в диапазоне от -40 до +125°C. Положения оптимальных значений коэффициента отражения на диаграмме Смита также совпали с высокой точностью, что видно на контурах выходной мощности в правой части рисунка 4.

ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕК ТЕХПРОЦЕССОВ

Модели активных устройств и пассивных компонентов вместе с их параметризованными топологически-

ми ячейками (PCells) собираются в библиотеки для поддержки разработки МИС по соответствующим техпроцессам. Библиотеки для Microwave Office предоставляются непосредственно UMS и включают в себя подробный файл описания топологических правил (LPF), задающий параметры слоёв и материалов для ЭМ-анализа. Разработчикам доступна подстройка параметров моделей активных и пассивных компонентов, включая ширину затвора, количество выводов и значения ёмкостей и индуктивностей. Помимо топологических чертежей модели снабжены специальными схемными символами. На рисунке 5 показаны компоненты библиотеки техпроцесса GH25 на схеме Microwave Office.

Аналогичные библиотеки будут созданы для техпроцессов GH15 и GH10, как только будут верифицированы соответствующие модели.

Среди встроенных примеров в Microwave Office есть подробная предустановленная тестовая схема для тестирования транзисторов, которую можно использовать для анализа базовых параметров модели транзистора перед тем, как приступить к работе над проектом. Для этого необходимо лишь заменить модель по умолчанию на требуемую нелинейную модель транзистора и запустить симуляцию. После добавления библиотеки UMS в топологическом редакторе будет открыт соответствующий файл LPF, а модели появятся в библиотеке элементов для размещения в схемах Microwave Office. Тестовый проект «FET_Characterization» включает в себя заранее настроенные измерения ВАХ, S-параметров, а также одно- и двухсигнальные измерения нелинейных характеристик с развёрткой по мощности, в числе которых – усиление, выходная мощность, КПД и контуры load-pull (см. рис. 6).

Библиотеки различных техпроцессов позволяют разработчикам применять любые комбинации методик линейного и нелинейного анализа, включая load-pull. Появившийся в последней версии Microwave Office инновационный модуль синтеза цепей согласования поддерживает разработку цепей питания и согласования на основе S-параметров и данных load-pull для непосредственного достижения оптимальных характеристик по мощности, линейности и/или эффективности. Данные возможности были протестированы для определения оптимальных импедансов источника и нагрузки для нитридного транзистора (8×75 мкм) на частоте 18 ГГц (см. рис. 7). На второй гармонике (36 ГГц) на выходе транзистора в качестве нагрузки была размещена параллельная ёмкость для повышения пикового КПД до 36%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии GaN на SiC обретают всё большую популярность как перспективные материалы миллиметрового диапазона длин волн для применения в составе систем нового поколения. Успех проектов на основе этих технологий напрямую зависит от наличия качественных и точных нелинейных моделей активных

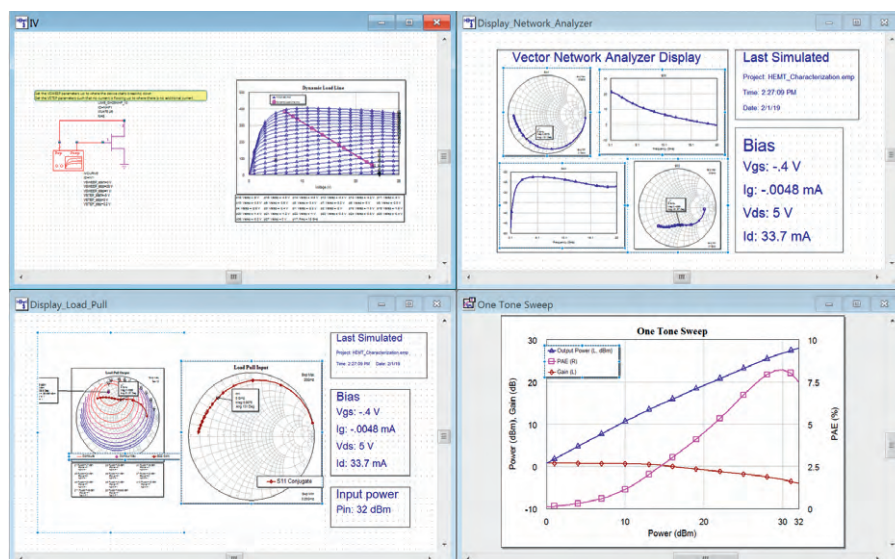


Рис. 6. Результаты моделирования транзистора (0,25 мкм, GaN, 8×75 мкм) в рамках предустановленной тестовой схемы Microwave Office

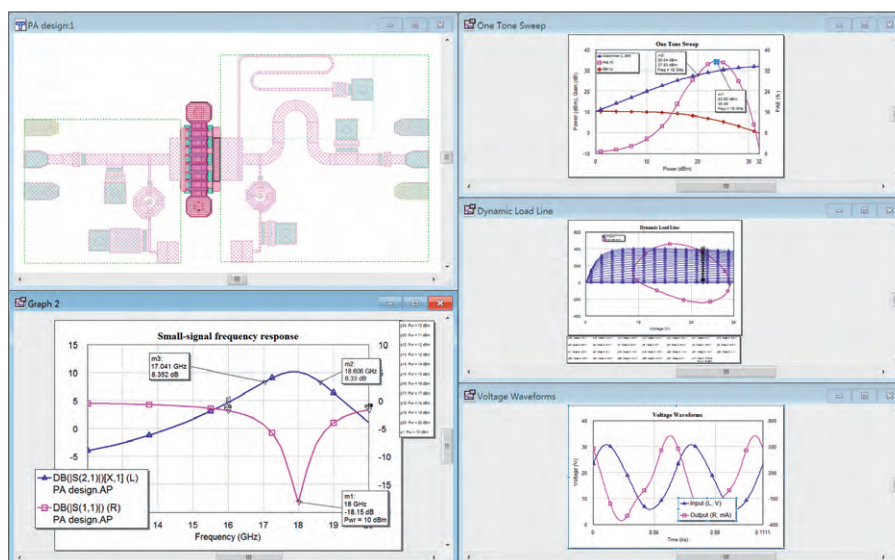


Рис. 7. Результаты моделирования усилителя мощности на 18 ГГц на основе нитридного транзистора (8×75 мкм) по техпроцессу 0,25 мкм

устройств, основанных на измерениях и учитывающих различные сложные явления, такие как ловушечные состояния в нитридных гетероструктурах.

Построение компактной модели, обеспечивающей разработчика полной информацией о характеристиках используемых транзисторов, значительно упрощается благодаря применению продвинутых программных инструментов компании AWR. Поддержка построения библиотек техпроцесса, возможность проведения load-pull моделирования и сравнения с результатами измерений, глубокая интеграция библиотек в процесс проектирования и мощные методы анализа позволяют существенно упростить и ускорить разработку монолитных

интегральных схем. Помимо описанной в данной статье библиотеки техпроцесса 0,25 мкм и уже существующих библиотек, UMS планирует представить новые PDK для Microwave Office, в том числе и для нитридного техпроцесса 0,1 мкм в ближайшем будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Benvenuti A. «Trapping and Reliability Investigations in GaN-based HEMTs Electronics» Université de Limoges. 2016.
2. Nsele S.D., Escotte L., Tartarin J.G., Piotrowicz S. and Delage S.L. «Broadband Frequency Dispersion Small-Signal Modeling of the Output Conductance and Transconductance in AlInN/GaN HEMTs» IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 60, No. 4, April 2013, pp. 1372–1378.





Новые возможности в системе функциональной верификации и моделирования HDL-проектов Delta Design Simtera

Никита Малышев (malyshev.n@eremex.ru)

На сегодняшний день разработка проектов для конфигурации ПЛИС является востребованной тематикой [1]. За счёт скорости работы, возможности многократной реконфигурации и простоты разработки, по сравнению со СБИС, ПЛИС нашли широкое применение во всех областях техники. При разработке программируемой схемы необходимо провести верификацию работы программы – то есть проверку правильности работы по техническому заданию. Для верификации и поведенческого моделирования проектов используется САПР Delta Design Simtera.

Цикл проектирования программируемой интегральной схемы представляет собой итерационный процесс. За счёт ограничений, каждый этап проектирования предполагает возвращение

на предыдущую стадию для доработки и получения нужных характеристик.

На рисунке 1 представлен маршрут разработки конфигурации ПЛИС с возможностями, реализованными в Delta Design Simtera. Зелёным цветом на рисунке выделены этапы, поддерживаемые Simtera: система обеспечивает разработку, верификацию, синтез и частично функциональную и временную верификацию проекта. Рассмотрим некоторые нововведения в готовящейся к официальному выпуску новой версии Delta Design Simtera.

Единый интерфейс

В новой версии Delta Design Simtera встроена в САПР проектирования элек-

троники Delta Design и расширяет её функциональность. Теперь, в зависимости от требований разработчиков, Delta Design Simtera может быть предоставлена как в виде самостоятельного программного комплекса, так и в составе с другими программными решениями компании ЭРЕМЕКС. Единый пользовательский интерфейс унифицирует работу со всеми инструментами компании и снижает уровень входа как для новых, так и для опытных пользователей Delta Design.

Схемотехнический редактор и библиотека компонентов

В новой версии Delta Design Simtera предусмотрено ведение проектов в схемотехническом виде. Теперь по желанию разработчика ПЛИС можно выбрать вариант ведения RTL (Register Transfer Level – уровень регистровых передач) описания как в виде HDL-кода, так и в виде схемы. Можно также совмещать оба этих варианта. Вариант совместного ведения проекта типа «схема-код» доступен благодаря тому, что схеме сопо-

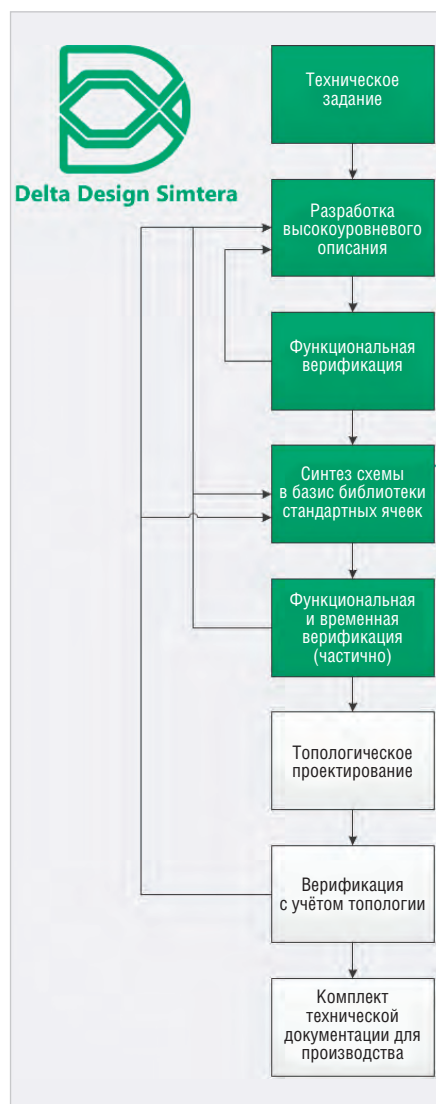


Рис. 1. Маршрут разработки проекта ПЛИС

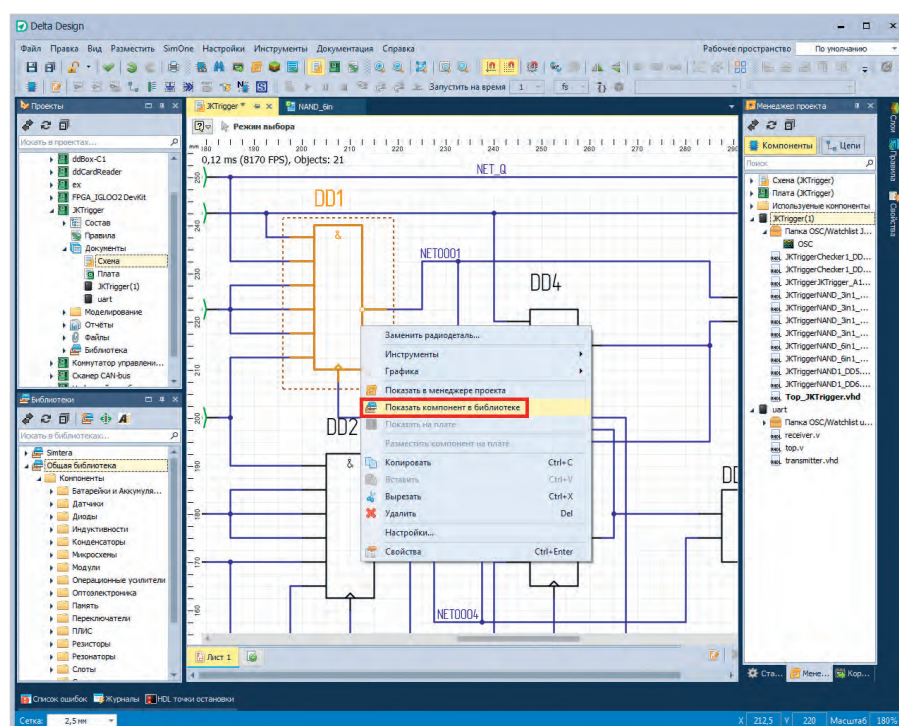


Рис. 2. Инструмент поиска компонента схемы в библиотеке

ставляется соответствующее HDL-описание.

При ведении проекта в виде схемы появляется необходимость в использовании библиотеки. Библиотека позволяет вести единую централизованную базу компонентов. Компонент состоит из множества представлений – УГО (условно-графическое обозначение), посадочное место, SPICE-модель и прочее. В рамках данной статьи рассмотрим только УГО, список контактов и HDL-модель. Именно они задействованы при проектировании и верификации HDL-проектов в схемотехническом виде.

Для просмотра содержимого компонента необходимо обратиться к пункту «Показать компонент в библиотеке» из контекстного меню компонента при его выборе (см. рис. 2). При открытии выбранного элемента библиотеки становится доступно его редактирование. На рисунке 3 показан редактор компонентов.

Каждая вкладка редактора компонентов предполагает работу с определённой моделью компонента. На вкладке УГО соответственно открывается возможность редактирования графического отображения: доступна отрисовка графического представления, расстановка выводов и определение их типов с заданием имён. С помощью выводов осуществляется соединение компонентов в цепи, а графическое представление служит для визуальной идентификации элемента схемы. Также на основе выводов, использующихся в компоненте, возможна генерация шаблона HDL-кода. По выводам и их типам генерируется интерфейс с портами и переменными для HDL-модели компонента. При необходимости HDL-модель компонента может быть расширена разработчиком (см. рис. 4).

Работа с HDL-описанием компонента доступна во вкладке «HDL модель». Здесь так же, как и при работе во вкладке «УГО» доступна панель со списком выводов. Именно по этому списку при нажатии кнопки «Генерировать» (см. рис. 4) произойдёт создание VHDL- и Verilog-моделей. Эти модели содержат описание портов, а функциональность дописывается пользователем самостоятельно. При этом в базовой версии Delta Design Siltera подразумевается поставка библиотеки со стандартными логическими ячейками. Эту библиотеку можно использовать при разработ-

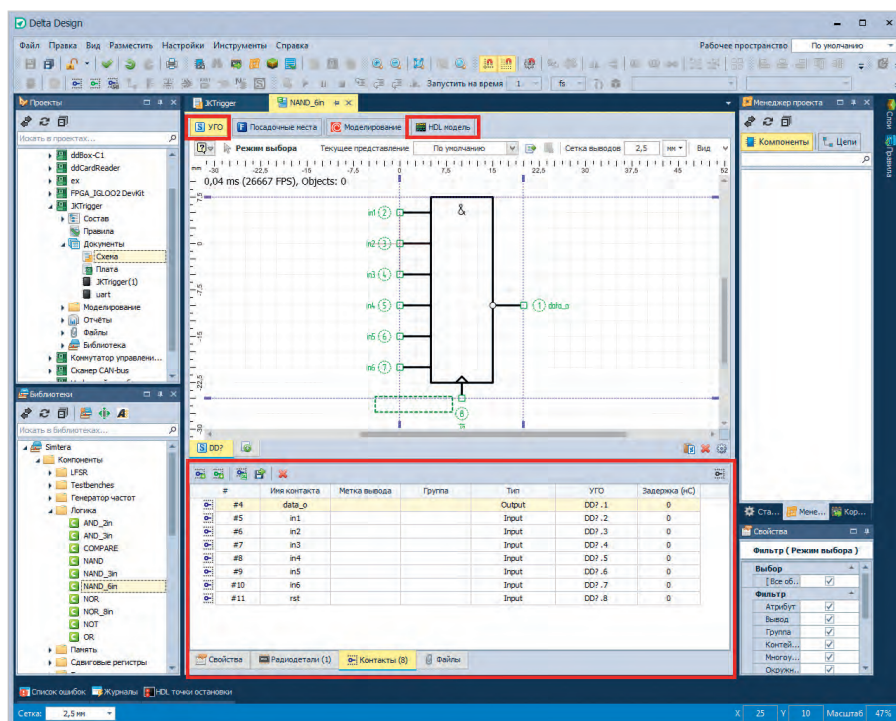


Рис. 3. Редактор компонента

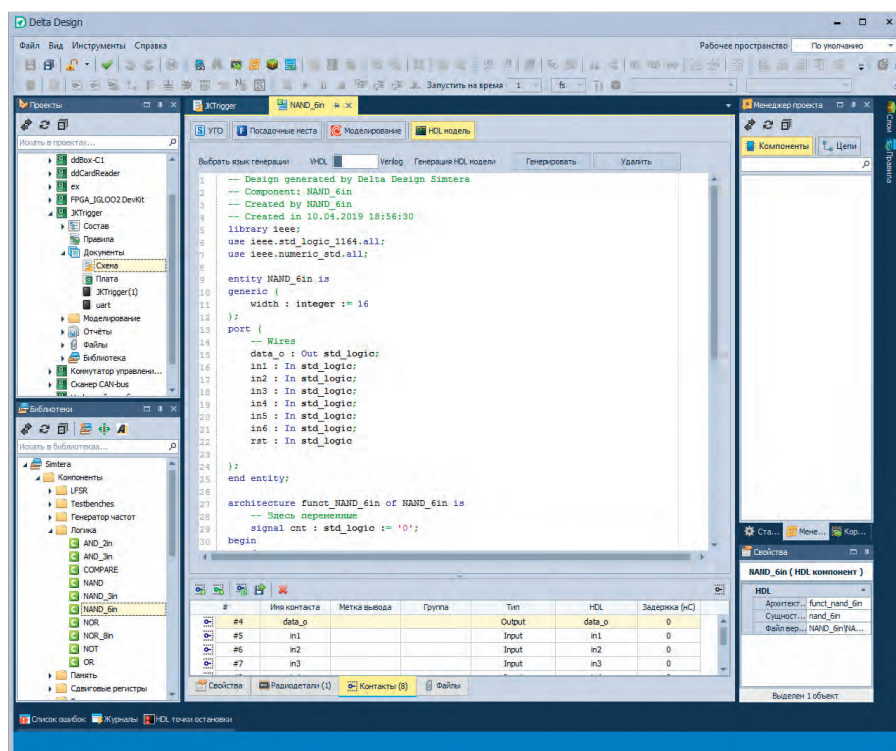


Рис. 4. Редактирование HDL-модели компонента

ке. Также она будет открыта для изменения и дополнения.

При ведении проекта в схемотехническом виде возможно использование всех средств разработки, заложенных в системе, – это соединение типа «Провод», «Шина», использование многолистовых проектов, повторяющихся блоков и других инструментов. Кроме этого в схемотехническом редакторе во вкладке «Свойства» может быть отобра-

жена информация об элементах схемы. Так, при выделении компонента схемы становятся доступными для отображения параметры HDL-модели компонента. Кроме того, параметры компонентов могут быть изменены. Например, в зависимости от использования HDL-языка для описания функциональности компонента, могут быть изменены параметры «generic» VHDL-модели или «parameter» Verilog-модели.

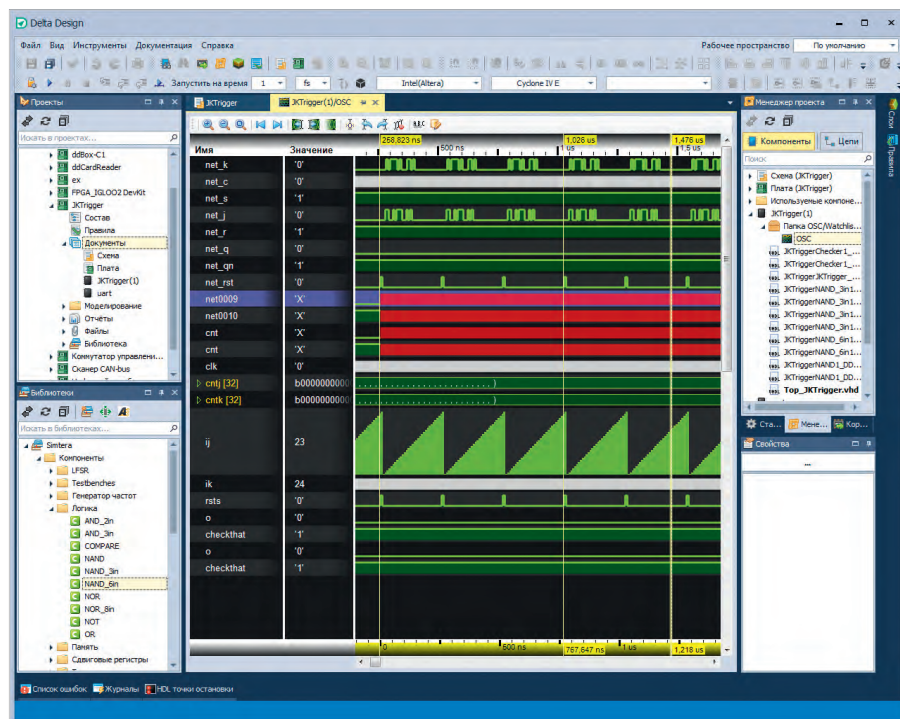


Рис. 5. Осциллограф Delta Design Simtera

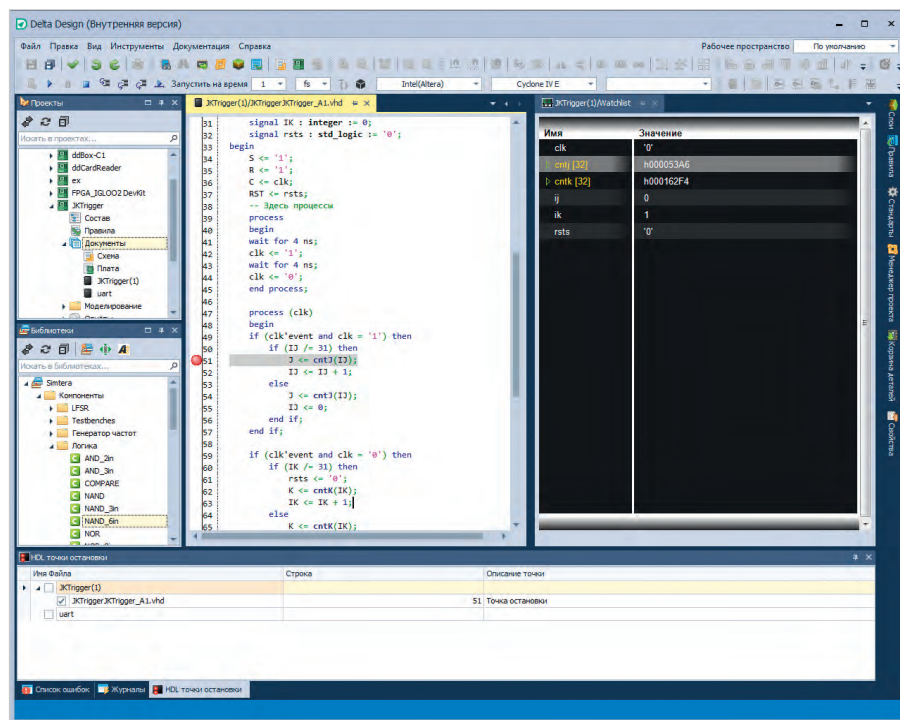


Рис. 6. Отладка проекта по точкам останова

По результатам проектирования схемы можно выгрузить документацию со штампом, перечень используемых компонентов, а также получить статистику по проекту и многое другое.

ВЕРИФИКАЦИЯ И ПОВЕДЕНЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Основной функцией системы Delta Design Simtera является верификация HDL-проектов и их поведенческое

моделирование. Кроме этого возможна отладка методом остановки по точкам прерывания в интересующих частях HDL-программы. На рисунке 5 представлена осциллограмма с результатами моделирования разрабатываемой схемы. В системе, как и в предыдущих версиях, предусмотрены такие инструменты работы с осциллографом, как курсоры, отображение данных в цифровом и аналоговом видах, перемещение курсоров по оси времени и многое другое.

На рисунке 6 показан процесс отладки кода проекта с помощью точки останова (прерывания). При остановке выполнения программы на точке можно отследить состояние HDL-программы – значения переменных, логи, правильность выполнения. Вместе с точкой остановки можно использовать инструмент «Список наблюдения», который также представлен на рисунке 6, в правой части рабочего пространства, для отображения значений переменных при остановке программы.

В системе предусмотрено моделирование assert-ами (проверками утверждений). Для просмотра assert-ов точно так же, как и для просмотра логов, можно использовать панель «Журналы». Именно в неё выводятся сообщения о ходе компиляции, сообщения отладки и другая информация по программе.

СИНТЕЗ

Заключительным этапом работы с системой может быть, как выгрузка файлов HDL-проекта, так и файлов синтеза из HDL в библиотечное представление выбранного устройства для последующего проектирования и получения файлов конфигурации ПЛИС.

В качестве устройств для синтеза можно выбрать Xilinx чипы 7-х серий, Intel – Cyclone IV, Cyclone IV E, Cyclone V, Cyclone 10, Arria 10 GX, MAX 10. Также ведётся работа по поддержке российских ПЛИС от компании МИЛАНДР.

Синтез реализован с помощью встроенного инструмента Yosys [2]. Такая интеграция позволяет отображать Verilog-проекты (на данный момент поддерживается только Verilog) в базис библиотечных ячеек ПЛИС и выгружать результаты синтеза в форматах BLIF, EDIF, VQM и упрощённый RTL Verilog для последующей работы в программных пакетах компаний-производителей (Xilinx, Intel, Lattice и др.).

Для упрощённой работы с Yosys в Delta Design Simtera можно создавать шаблоны, которые будут использоваться при проведении итераций синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малышев Н. Средства функциональной верификации компании Eremex. Современная электроника. 2018. №7. С. 36–37.
2. Строгонов А., Городков П. Программные средства с открытым исходным кодом для проектирования цифровых устройств в базисах БИС и ПЛИС. Компоненты и технологии. 2017. №3. С. 105–114.





Свобода проектирования



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

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

Патентно-аналитическое обеспечение инновационного развития предприятий и проведения их диверсификации

Максим Шилак (Москва)

«В мире происходят кардинальные технологические перемены. По своему масштабу они сопоставимы с эпохами промышленных революций и научных открытий, которые радикально меняли уклад жизни людей на нашей планете. Очевидно, что сейчас лидером станет тот, кто будет обладать собственными технологиями, знаниями, компетенциями. Они становятся важнейшим ресурсом развития, обеспечивают суверенитет страны» (В. Путин, 2018).

В настоящее время особо остро стоит вопрос повышения эффективности и инновационного развития российской промышленности. Одним из путей решения данной задачи является проведение диверсификации производства, направленной на снижение рисков и повышение эффективности производства. Даже самые успешные предприятия не могут постоянно развиваться и функционировать по одним и тем же критериям. Как крупные, так и мелкие промышленные предприятия не могут существовать в неизменном виде на протяжении длительного периода времени без учёта постоянно меняющихся потребностей рынка и влияния внешней среды в целом. Каждому предприятию необходимо менять центры экономического внимания, распределять средства, искать новые подходы к развитию. Это подразумевает перераспределение центров внимания на рынке, расширение выпускаемого ассортимента товаров либо услуг, поиск новых рынков сбыта, освоение новых технологий и способов производства.

Анализ практики реализации инновационных проектов, показывает, что при их выполнении зачастую не уделяется должное внимание вопросам аналитического патентно-информационного обеспечения. Так, многие инновационные разработки часто осуществляются без учёта «патентной обстановки» в предметных областях, планы перспективных разработок строятся без предварительного проведения патентно-информационных исследований по предметным направлениям, в рамках выполняемых работ не всегда проводятся исследования на уровень вновь создаваемых образцов техники, а по закрытии работ – исследования на патентную чистоту.

При осуществлении экспорта высокотехнологичной продукции не всегда используются необходимые институты и механизмы патентно-аналитического обеспечения, таких как: централизованное зарубежное патентование перспективных ключевых технических решений, реализованных в экспортируемой продукции, мониторинг фактов незаконного копирования и исполь-

зования результатов интеллектуальной деятельности (РИД) зарубежными конкурентами, правовая защита исключительных прав на РИД.

В связи с этим очевидным является увеличение существующих рисков нарушения исключительных прав третьих лиц при экспорте выпускаемой продукции, потери экспортных рынков высокотехнологичной продукции из-за их «правовой монополизации» компаниями-конкурентами с использованием активного («зонтичного») патентования и отставания по показателям тактико-технических характеристик экспортируемой продукции.

В данной статье рассматриваются возможности технологической разведки на основе патентно-информационных исследований.

С помощью патентной аналитики осуществляется сбор, обобщение, анализ сведений, содержащихся в патентной информации, что позволяет:

- оценить технологический уровень и конкурентоспособность предприятия;
- выявить тренды приоритетных технологических направлений развития предприятий промышленности за рубежом и в РФ;
- определить перспективные направления НИОКР в интересах диверсификации предприятия;
- обеспечить высокую конкурентоспособность выпускаемой продукции, сократить расходы на её создание, исключив дублирование исследований и разработок;
- проводить конъюнктурное и технологическое исследования экспортных рынков;
- обеспечить доступность (безопасность) экспортных рынков для отечественной продукции;
- выявить текущее положение конкурентов (степень конкуренции и уровень используемых технологий) в заданных технологических сферах;
- выявить патентные стратегии иностранных конкурентов на экспортных рынках;
- выявить «параллельные направления» и тренды в области технологического развития зарубежных конкурентов.

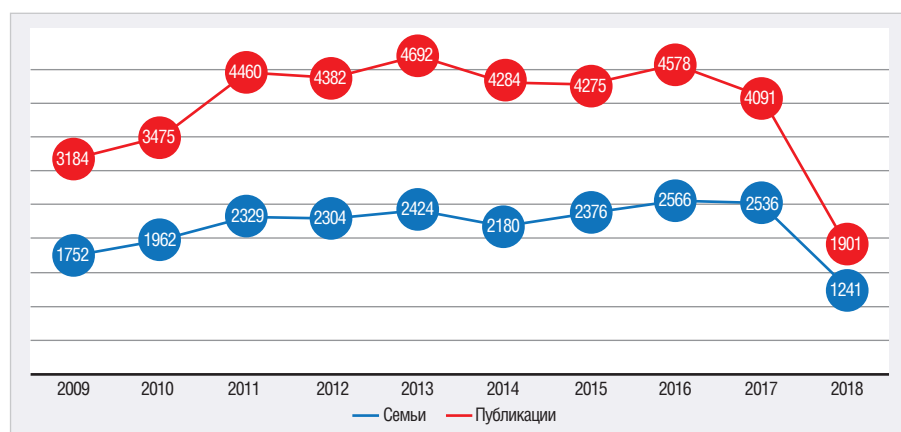


Рис. 1. Динамика патентной активности



Рис. 2. Динамика патентной активности по странам

В качестве примера предлагаем рассмотреть результаты патентно-информационных исследований в области техники, соответствующей группе международного патентного классификатора (МПК) – H02N-003 «Схемы защиты электрических линий, осуществляющие автоматическое отключение и непосредственно реагирующие на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров с последующим восстановлением соединения или без такового».

Данная рубрика насчитывает порядка двадцати двух тысяч патентных семейств, включающих в себя около сорока тысяч публикаций начиная с 2009 года. Выдано порядка двадцати одной тысячи патентов. Динамика патентной активности, показанная на рисунке 1, имеет положительный тренд, что говорит об актуальности направления для разработчиков. Рост числа публикаций может указывать на стремление к захвату зарубежных рынков, обеспечив надлежащую правовую охрану своих технических решений путём расширения патентных прав в потенциальных странах поставки продукции, вызывая рост патентной семьи

за счёт подачи заявки и её дальнейшей публикации в желаемой стране.

Значительная разница между количеством семейств и общим количеством публикаций с 2009 по 2018 год (в среднем ~1,8 раза) позволяет сделать вывод о высокой коммерческой значимости разработок в данной области. Спад, наблюдаемый в 2018 году, обусловлен тем, что ещё не все заявки, поданные в период 2016–2018 гг., опубликованы.

Распределение патентных семейств по странам первого приоритета (страна подачи первой заявки) позволяет определить те страны, которые являются основными разработчиками и исследователями в анализируемой области. Китай является лидером по числу разработок, на чью долю приходится 60% от общего числа семейств в анализируемой области. На втором месте США – 11%, на третьем Япония – 10%, Корея – 4–5%, Германия замыкает пятёрку ведущих стран-разработчиков – 4%. Россия с показателем в 454 патентных семьи (2%) занимает шестое место рейтинга. Всего было установлено тридцать пять стран, ведущих собственные разработки в области защитных схем электрических цепей.

На рисунке 2 показана динамика патентной активности в отдельности по каждой из стран. Китай активно наращивает темпы технологического развития в данном направлении, однако небольшая разница между числом патентных семей и числом публикаций свидетельствует о том, что основная масса заявок не выходит за пределы страны, указывая на ориентированность разработок на внутренний рынок. В США после 2012 года наблюдается тенденция к снижению числа патентных

ЗАЩИТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ



Сопровождение деятельности предприятий ОПК по вопросам управления правами на результаты интеллектуальной деятельности

Выполнение патентно-информационных исследований

Правовая охрана, включая международное патентование интеллектуальной собственности

Оценка интеллектуальных прав



ООО «ВКО-ИНТЕЛЛЕКТ»
8 (499) 750 0496
www.vko-intellekt.ru

Таблица 1. Результаты анализа распределения публикаций по ведомствам второй и последующих подач

Страна	Потенциальные рынки сбыта ("основные")	Экспорт технологий (доля экспортируемых заявок)	Импортёры технологий ("основные")
Китай	США*, Тайвань, Япония, Индия, Корея, Бразилия, Канада, Австралия, Германия, Великобритания, Россия, Мексика, Испания, Сингапур, Дания, Франция, Португалия, Гонконг, Новая Зеландия, Италия, Финляндия, Норвегия, Чили, Колумбия	Слабый (8%)	США*, Япония*, Германия*, Корея, Франция, Тайвань, Великобритания, Австрия, Индия, Австралия, Италия, Финляндия, Швеция, Дания, Польша, Чехия, Норвегия, Израиль, Бельгия, Россия, Украина, Бразилия, Словения
США	Китай*, Канада*, Япония, Мексика, Корея, Индия, Германия, Тайвань, Бразилия, Австралия, Испания, Россия, ЮАР, Великобритания, Израиль, Гонконг, Новая Зеландия, Дания, Сингапур, Австрия, Чили, Франция, Аргентина, Коста-Рика, Норвегия, Малайзия, Колумбия, Перу, Швеция, Тайланд, Польша, Словения, Португалия, Вьетнам, Италия, Турция, Египет, Чехия, Финляндия, Венгрия, Ирландия	Высокий (67%)	Япония*, Китай, Германия, Корея, Тайвань, Франция, Великобритания, Австрия, Индия, Австралия, Италия, Ирландия, Швеция, Дания, Израиль, Норвегия, Финляндия, Чехия, Россия, Бразилия, ЮАР, Бельгия, Мексика, Словения, Новая Зеландия
Япония	США*, Китай*, Корея, Германия, Тайвань, Индия, Бразилия, Вьетнам, Канада, Австралия, Великобритания, Россия, Испания, Гонконг, Тайланд, Франция, Австрия, Сингапур, Мексика, Польша, Дания, Малайзия	Средний (53%)	США*, Германия, Корея, Китай, Франция, Тайвань, Великобритания, Австралия, Россия, Индия, Бразилия, Италия, Финляндия, Норвегия
Корея	США*, Китай*, Япония, Испания, Индия, Германия, Тайвань, Бразилия, Россия, Канада, Великобритания, Тайланд, Чили	Средний (44%)	США*, Япония*, Германия, Китай, Франция, Тайвань, Великобритания, Австралия, Австрия, Бразилия, Италия, Финляндия, Швеция, Норвегия, Россия, Бельгия
Германия	Китай*, США*, Япония, Индия, Корея, Испания, Канада, Россия, Бразилия, Австралия, Австрия, Дания, Польша, Франция, Словения, Мексика, Великобритания, ЮАР, Сингапур, Гонконг, Венгрия, Италия, Турция, Чехия, Аргентина, Португалия, Тайвань, Украина, Израиль, Швеция	Высокий (71%)	США*, Япония*, Китай, Великобритания, Корея, Тайвань, Чехия, Россия, Франция, Италия, Финляндия, Дания, Индия, Австралия, Австрия, Швеция
Россия	США, Германия, Китай, Япония, Корея, Индия, Канада, Бразилия, Австралия, Мексика, Украина, Вьетнам, Малайзия	Слабый (5%)	США*, Германия*, Франция*, Китай, Австрия, Великобритания, Япония, Украина, Корея, Польша, Австралия, Тайвань, Чехия, Бразилия, Италия, Финляндия, Швеция

семей, при этом существенная разница между числом патентных семей и числом публикаций (~3,8 раза) указывает на зрелость технологий, а также стремление американских компаний обеспечить надлежащую правовую охрану на зарубежных рынках. Аналогичная ситуация наблюдается и в Японии, где пик зрелости был достигнут в 2010 году. В Германии и Корее динамика возникновения числа семейств более стабильна, что указывает на актуальность данного направления для разработчиков.

В России на протяжении всего периода наблюдается нестабильная динамика с пиковыми значениями в 2012 и 2016 годах, где в среднем подаётся около пятидесяти заявок в год, что значительно меньше, чем показатели в ведущих странах. Отсутствие разницы в числе патентных семей и числе публикаций может указывать на незаинтересованность в правовой охране разработок за рубежом, что может также объясняться высокой стоимостью зарубежного патентования, а также наличием большого числа неконкурентоспособной продукции для внешних рынков. Общая тенденция к спаду, наблюдаемая в 2016–2018 годах, вызвана задержкой в публикации заявок, поданных за указанный период.

Анализ ведомств второй и последующих подач позволяет выявить потенциальные рынки сбыта и/или намерения развернуть собственное производство в желаемой стране. Кроме того, выбор страны для территориального расширения патентных прав может быть обусловлен стремлением к ограничению свободы действия конкурентов, а так-

же являться мерой сдерживания потенциальных нарушителей прав.

В таблице 1 представлены результаты анализа распределения публикаций по ведомствам второй и последующих подач. Китай, несмотря на лидирующие позиции по числу разработок, не стремится выводить свои разработки за пределы страны, где на долю экспорта технологий приходится только 8% (из 14 336 документов лишь 1163 опубликовано за пределами страны). При этом достаточно широкий территориальный охват (24 страны) указывает на наличие крупных китайских компаний, стремящихся к защите своих технических решений на международных рынках.

Наиболее активную деятельность по международному патентованию ведут представители Германии и США, где доля экспорта заявок составляет 71 и 67% соответственно, при этом США имеет самый широкий спектр территориального охвата патентных прав (41 страна), что говорит о стремлении к захвату и закреплению на международных рынках.

США и Китай являются наиболее востребованными странами для расширения патентных прав, куда поступают заявки из 25 и 23 стран, соответственно, что указывает на привлекательность данных рынков для сбыта продукции. Россия, как и Китай, практически не выводит свои разработки за рубеж. При этом стоит отметить стремление российских компаний к выходу на международные рынки (13 стран), однако ввиду того, что во все указанные страны было подано по 1–2 заявки, выявить наиболее предпочтительный из них не представляется возможным.

Мировой рейтинг ведущих разработчиков в анализируемой области по числу патентных семейств выглядит следующим образом. Лидером в области защитных схем электрических цепей является китайская электросетевая компания (SGCC), которая, несмотря на ведущие позиции Китая по числу разработок, является единственным представителем страны в рейтинге ведущих разработчиков. Второе место с двукратным отставанием занимает немецкий концерн Siemens. На третьем месте с незначительным отставанием представитель Японии – Mitsubishi Electric, являющийся производителем широкого спектра электрического и электротехнического оборудования. Два других представителя этой страны – Toshiba и Chugoku Electric Power занимают четвёртое и десятое место, соответственно. На пятом месте представитель Тайваня – Non Hai Precision Industry, более известный под торговым наименованием Foxconn – крупнейший в мире контрактный производитель электроники, осуществляющий производство комплектующих и сборку высокотехнологической продукции для других компаний, которые, в свою очередь, продают изделия под своими брендами. Шведско-швейцарская корпорация ABB Schweiz, специализирующаяся в области электротехники, энергетического машиностроения и информационных технологий, занимает шестое место. На седьмом и восьмом местах расположились представители США – корпорации Eaton и General Electric. Девятое место у французской энергомашиностроительной компании Schneider Electric – производителя оборудования для энергетиче-

ских подкомплексов промышленных предприятий, объектов гражданского и жилищного строительства, центров обработки данных.

В рейтинге ведущих разработчиков по числу патентных семей на территории РФ лидером является шведско-швейцарская корпорация ABB Schweiz. Второе место у французской энергомашиностроительной компании Schneider Electric. Третье место поделили между собой немецкий концерн Siemens и российская компания ООО «Релематика» (ранее ИЦ «Бреслер») – ведущий отечественный разработчик и производитель современных комплексов релейной защиты и автоматики.

В таблице 2 показана активность ведущих компаний-разработчиков в отношении стран, отражающая интерес к тому или иному рынку на основе числа опубликованных документов. Страны расположены в порядке уменьшения числа публикаций, где звездочкой отмечены страны с наибольшим числом публикаций.

Как видно из таблицы, наиболее привлекательными для ведущих компаний являются рынки США и Китая. Наибольший территориальный охват у Eaton Intelligent Power и ABB Schweiz, которые, как и Siemens, Mitsubishi Electric, Toshiba, General Electric и Schneider Electric Industries заинтересованы в максимальном присутствии на зарубежных рынках. Китайская электросетевая компания ориентирована в основном на внутренний рынок, при этом был отмечен небольшой интерес в США (11 публикаций). В Индии, Бразилии и Дании отмечено по одной публикации. Японская компания Chugoku Electric Power работает исключительно на внутренний рынок. Тайваньская компания Hon Hai Precision Industry придерживается стратегии охраны от возможных конкурентов уже на существующих рынках Китая и США и не претендует на масштабное территориальное расширение.

Среди российских разработчиков также была отмечена активность на международной арене. Компания АО «НПО «Стример» имеет внушительный территориальный охват патентных прав на «Высоковольтный изолятор и высоковольтная линия электропередачи» (см. Патент РФ № 2377678 от 27.12.2009). Соответствующие патенты на данное техническое решение были получены в Австралии, Канаде, Китае, Японии, Корее, Мексике, Малайзии, Украине, США, Вьетнаме и Евразийском патентном ведом-

Таблица 2. Активность ведущих компаний-разработчиков в отношении стран, отражающая интерес к тому или иному рынку на основе числа опубликованных документов

Компания	Потенциальные рынки сбыта (*основные)
SGCC	Китай*, США, Индия, Бразилия, Дания
Siemens	Китай*, Германия*, США*, Бразилия, Индия, Россия, Корея, Канада, Австралия, Великобритания, Австрия, Япония, Испания, Сингапур, Дания, Польша, Мексика, Италия
Mitsubishi Electric	Япония*, Китай*, США*, Корея, Германия, Тайвань, Великобритания, Индия, Австралия, Канада, Гонконг, Тайланд, Бразилия, Франция, Испания, Дания, Сингапур, Вьетнам
Toshiba	Япония*, Китай*, США*, Индия, Бразилия, Вьетнам, Корея, Канада, Тайвань, Россия, Германия, Австралия, Испания, Великобритания, Гонконг, Тайланд
Hon Hai Precision Industry	Китай*, США*, Тайвань*, Япония
ABB Schweiz	США*, Китай*, Индия, Россия, Канада, Япония, Корея, Бразилия, Австралия, Испания, Германия, Сингапур, ЮАР, Аргентина, Франция, Мексика, Дания, Финляндия, Польша, Гонконг, Новая Зеландия, Вьетнам, Италия, Швеция
Eaton Intelligent Power	США*, Китай, Канада, Мексика*, Бразилия, Индия, Германия, Австралия, Великобритания, Япония, Австрия, Россия, Тайвань, Корея, Испания, Украина, Коста-Рика, Дания, ЮАР, Сингапур, Вьетнам, Тайланд, Норвегия, Чили, Марокко
General Electric	США*, Китай*, Япония*, Канада*, Бразилия, Германия, Индия, Корея, Австралия, Мексика, Дания, Испания, Великобритания, Новая Зеландия, Франция, Россия, Сингапур, Швеция, Тайвань
Schneider Electric Industries	Китай*, США*, Франция*, Индия*, Россия, Испания, Австралия, Бразилия, Канада, Мексика, Япония, Корея, Польша, Великобритания, Австрия, ЮАР, Германия, Украина, Дания, Сингапур
Chugoku Electric Power	Япония*

стве. Также в настоящий момент находятся на рассмотрении заявки, поданные в Бразилию, Индию, Филиппины и в Европейское патентное ведомство. Такое значительное число стран указывает не только на стремление к выходу на соответствующие рынки, но и свидетельствует о высокой коммерческой значимости запатентованного решения, окупающего весьма существенные затраты на международное патентование.

Другим патентообладателем – Иваном Фёдоровичем Маруда – был получен патент Германии № 202011109999 от 31.10.2012 на «Устройство релейной защиты сосредоточенного объекта от коротких замыканий», которое может использоваться в защитах генераторов, трансформаторов, автотрансформаторов, токоограничивающих реакторов и другого электрооборудования.

Компания АО «СО ЕЭС» владеет рядом евразийских патентов. Патент ЕА № 027267 от 31.07.2017 получен на «Способ включения линии электропередачи переменного тока», основанный на включении первой фазы, измерении напряжения на второй и третьей фазах. Патент ЕА № 023872 от 29.07.2016 получен на «Устройство для защиты от коротких замыканий в «мёртвой» зоне открытых распределительных устройств объектов электроэнергетики высокого или сверхвысокого напряжения – на участках между трансформаторами тока и выключателями». Стоит отметить, что на территории России на данное техническое решение по патенту РФ на изобретение № 2508585 от 27.02.2014 была выда-

на простая неисключительная лицензия на срок до 30.06.2019 на право использования компанией ООО «НПП «ЭКРА», что также может характеризовать данное техническое решение как значимое.

Другим патентом АО «СО ЕЭС» является патент ЕА № 023229 от 31.05.2016 на «Способ включения трёхфазной линии электропередачи». В России на данное техническое решение также была выдана лицензия на право использования компанией ООО «НПП «ЭКРА».

Распределение патентных семейств по областям применения устройств и способов защиты схем электрических цепей и анализ темпов роста их числа за десятилетний период позволяет оценить развитие технологической области на протяжении всего анализируемого периода (см. рис. Д1 в Дополнительных материалах к статье). Одна патентная семья может быть отнесена к нескольким технологическим областям. За десятилетний период развития наблюдается широкий охват областей применения (28 из 34), что обычно характерно для «зрелых» областей техники. Из данного распределения видно, что базовой областью применения анализируемых технологий является «Электрооборудование, Энергетика», которая насчитывает порядка двадцати двух тысяч патентных семей.

Наибольшие темпы роста наблюдаются в направлениях «Обработка», где за период 2014–2018 гг. была зафиксирована тридцать одна семья (47 за 2009–2018 гг.). Высокие темпы роста можно увидеть и в таких направлениях, как «Медицина», «Тепловые процес-

Таблица 3. Патентные семьи с наибольшим показателем цитирования

Номер документа	Наименование	Патентообладатель	Число цитирований
EP2587601	Активный ограничитель тока от перенапряжений	Georgia Tech Research, США	175
WO2014018434	Панель предохранителей	Edison Global Circuits, США	120
US20110141644	Дуговая защита постоянного тока, детектор дугового замыкания постоянного тока и способ обнаружения дугового замыкания	Eaton, США	71
US20110216453	Защитное устройство для системы электроснабжения	Pass & Seymour, США	69
CA2717953	Провод и система, использующая электрические генерирующие модули постоянного тока и ряд блоков защиты провода	Eaton, США	68

сы и аппараты», «Методы ИТ для управления» и «Цифровые коммуникации».

Однако стоит учитывать, что подавляющее число патентных семейств принадлежит Китаю, где проводится особая патентная политика, в результате которой наблюдается экспоненциальный рост числа подаваемых заявок практически во всех областях техники, что в конечном итоге оказывает положительное влияние на общую динамику патентной активности. Таким образом, следует рассматривать сложившиеся тенденции в областях техники отдельно от публикаций, имеющих китайский приоритет. Полученные результаты (см. рис. Д2 в Дополнительных материалах к статье) свидетельствуют о том, что основными областями применения технологий также являются «Электрооборудование, Энергетика», «Измерение», «Управление», «Транспорт», «Базовые процессы коммуникаций». Однако стоит отметить отсутствие интереса к области «Технологии поверхностей, покрытия», которые были отмечены при анализе с учётом вклада Китая, что говорит о более широком применении технологий на китайском рынке.

Каждой заявке, поданной в национальное патентное ведомство, присваивается соответствующий индекс международной патентной классификации, которая является основным средством для классификации патентных документов. Анализ тенденций по рубрикам МПК также позволяет выявить наиболее значимые и активно развивающиеся направления, касающиеся схем защиты электрических линий.

Для этого необходимо рассмотреть распределение патентных семейств по десяти наиболее популярным рубрикам МПК и по году подачи приоритетной заявки, без учёта Китая (см. рис. Д3 в Дополнительных материалах к статье), где наблюдается положительный рост практически по всем направлениям. Согласно

полученным данным, наибольшее число разработок ведётся в направлении H02H-003/08 «Схемы защиты, реагирующие на токовые перегрузки», насчитывающем 726 патентных семей. Однако после пика активности в 2011–2012 годах к настоящему моменту наблюдается тенденция к спаду, что говорит о снижении интереса к созданию новых технических решений. Стоит ожидать улучшение показателей 2017–2018 гг. после публикации всех заявок, поданных в указанный период, что, тем не менее, не сильно отразится на сложившейся тенденции. Наиболее положительную динамику можно наблюдать в направлениях H02H-003/087 «Схемы защиты, реагирующие на токовые перегрузки для цепей постоянного тока» и H02H-001/00 «Элементы конструкций, детали, схемы защиты».

Распределение патентных семейств по рубрикам МПК и странам публикации (см. рис. Д4 в Дополнительных материалах к статье) позволяет выявить специфику разработок в той или иной стране. В Китае отмечено наибольшее число разработок практически в каждом из направлений. В США, как в большинстве стран, основной акцент делается в направлениях H02H-003/00 «Схемы защиты, осуществляющие автоматическое отключение и непосредственно реагирующие на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров с последующим восстановлением соединения или без такового», H02H-003/08 «Схемы защиты, реагирующие на токовые перегрузки» и H02H-003/20 «Схемы защиты, реагирующие на избыточное напряжение», которое, однако, не относится к наиболее популярным в России.

Стоит отметить высокий интерес в России к направлению H02H-003/16 «Схемы защиты, реагирующие на ток замыкания на землю, на корпус или на массу», которое также имеет высокую

популярность в США, Японии, Корее, Германии и Канаде. Данное технологическое преимущество, а также слабый интерес к разработкам в данном направлении в Тайване, а также ряде других стран, может открывать возможности для захвата данной ниши продукцией зарубежных компаний, в том числе и российских, а также для развёртывания собственного производства.

Для российских разработчиков, осуществляющих свою деятельность в направлении H02H-003/40 «Схемы защиты, реагирующие на отношение напряжения и тока», также может быть интересен выход на зарубежные рынки с соответствующей продукцией. Стоит отметить характерный для всех стран, за исключением Китая, слабый интерес к направлению H02H-003/253 «Схемы защиты, реагирующие на пониженное напряжение и его отсутствие для многофазового применения, например, фазовое прерывание (выключение)».

Распределение рубрик МПК по ведущим мировым компаниям (см. рис. Д5 в Дополнительных материалах к статье) также позволяет определить их технологическую специфику. Разработки китайской электросетевой компании SGCC сфокусированы в направлениях H02H-003/08 «Схемы защиты, реагирующие на токовые перегрузки» и H02H-003/06 «Элементы конструкций, обеспечивающие автоматическое восстановление соединения». Разработки компаний Siemens и Mitsubishi Electric имеют наибольший технологический охват. При этом Siemens больше внимания уделяет направлению H02H-003/08, тогда как Mitsubishi Electric делает акцент на направлениях H02H-003/02 «Элементы конструкций устройств в схемах защиты» и H02H-003/05 «Элементы конструкций устройств в схемах защиты со средствами увеличения надёжности, например, с резервирующими устройствами», которые также наиболее интересны другому представителю Японии – компании Toshiba. Hon Hai Precision Industry ведёт основную деятельность в направлении H02H-003/20 «Схемы защиты, реагирующие на избыточное напряжение». Направление H02H-003/38 «Схемы защиты, реагирующие как на напряжение, так и на ток; реагирующие на фазовый угол между напряжением и током» наиболее интересно компании Chugoku Electric Power, которая работает исключительно на внутренний рынок.

Аналогичное распределение для российских ведущих разработчиков (см.

рис. Дб в Дополнительных материалах к статье) позволяет сделать следующие выводы. Сфера интереса компании ООО «Релематика» лежит в направлении Н02Н-003/40 «Схемы защиты, реагирующие на отношение напряжения и тока». Разработки в направлении Н02Н-003/08 «Схемы защиты, реагирующие на токовые перегрузки» наиболее интересны представителям высших учебных заведений – Томскому политехническому университету и НИУ «МЭИ». Компания ООО «НПП «ЭКРА» больше внимания уделяет направлению Н02Н-003/16 «Схемы защиты, реагирующие на ток замыкания на землю, на корпус или на массу». Орловский государственный университет осуществлял разработки в направлении Н02Н-003/04 «Элементы конструкций устройств в схемах защиты, обеспечивающие после отключения дополнительную подачу контрольного и предупредительного сигналов, например, для указания о том, что защитный прибор сработал».

Анализ цитирования патентных семей позволяет выявить наиболее ценные среди них, зачастую содержащие информацию о базовых технологиях, на основании которых строятся будущие модернизации, оказывающие большое влияние на развитие отрасли. Показатели цитирования патентных документов с приоритетами в некоторых странах выглядят следующим образом: США – 27168, Китай – 14910, Япония – 6709, Германия – 2418, Корея – 1776, Великобритания – 1185, Австралия – 1015, Тайвань – 687, Франция – 575, Россия – 202. Несмотря на то что по числу патентных семей подавляющее преимущество за китайскими разработчиками, к наиболее цитируемым документам относятся публикации представителей США. Низкие показатели цитирования российских публикаций могут указывать на то, что отечественные разработки в данной области не могут служить базой для будущих модернизаций и не оказывают большого влияния на мировое развитие анализируемой области. В таблице 3 представлены патентные семьи с наибольшим показателем цитирования. Ознакомиться с текстом указанных документов можно на сайте Европейского патентного ведомства [1]. В таблице 4 представлены наиболее цитируемые патентные семьи российских правообладателей. Ознакомиться с текстом документов можно на сайте ФГБУ «ФИПС» в разделе «Открытые реестры» [2].

Таблица 4. Наиболее цитируемые патентные семьи российских правообладателей

Номер документа	Наименование	Патентообладатель	Число цитирований
RU 2377678	Высоковольтный изолятор и высоковольтная линия электропередачи	АО «НПО «Стример»	19
RU 2454769	Устройство заземления нейтрали трёхфазной электрической сети	ООО «НПП «ЭНЕРГОКОНСАЛТ»	5
RU 2422964	Устройство токовой защиты электрических сетей от однофазных замыканий на землю (варианты)	Пермский государственный технический университет	5
RU 2410812	Устройство быстродействующей селективной защиты от однофазных замыканий на землю в распределительных сетях с возможностью безаварийного ввода резерва	Санкт-Петербургский государственный горный университет	5
RU 2584548	Устройство для максимальной токовой защиты электроустановок	Томский политехнический университет	4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ развития технологического направления, соответствующего группе МПК Н02Н-003 «Схемы защиты электрических линий, осуществляющие автоматическое отключение и непосредственно реагирующие на недопустимое отклонение от нормальных электрических рабочих параметров с последующим восстановлением соединения или без такового» показал его зрелость и высокую коммерческую значимость.

В данном техническом направлении Китай имеет подавляющее технологическое преимущество по числу осуществляемых разработок, которые всё же нельзя отнести к мировым, т.к. большая их часть ориентирована на внутренний рынок.

Наиболее востребованными рынками сбыта данной продукции являются США и Китай, однако для выхода на них необходимо создание конкурентоспособной продукции, не уступающей по качеству продукции ведущих мировых разработчиков, таких как Eaton Intelligent Power, ABB Schweiz, Siemens, Mitsubishi Electric, Toshiba, General Electric и Schneider Electric Industries.

В России к началу 2019 года наблюдается заметное отставание от стран, имеющих технологическое преимущество, занимающих значительную долю рынка устройств для схем защиты электрических линий, реагирующих на отклонение электрических параметров. При этом стоит отметить наличие потенциально конкурентоспособных технических решений у компаний АО «НПО «Стример» и АО «СО ЕЭС», наиболее активных в международном патентовании.

Также в России отмечено наличие небольшого технологического преимущества перед рядом стран в направлениях, касающихся устройств в схемах защиты, реагирующих на ток замыкания на землю, на корпус или на массу,

а также на отношение напряжения и тока, что даёт потенциальную возможность для захвата данных ниш в странах, имеющих технологическое отставание по данным направлениям.

В целом российским компаниям, планирующим осуществлять свою деятельность в анализируемом направлении, стоит обратить внимание на наиболее цитируемые документы, которые могут содержать сведения о базовых технологиях, что, в свою очередь, может позволить осуществлять собственные разработки с использованием более высокого уровня зрелых и апробированных технических решений. К наиболее перспективным из таких направлений можно отнести Н02Н-003/087 «Устройства схем защиты, реагирующие на токовые перегрузки для цепей постоянного тока» и Н02Н-001/00 «Элементы конструкций, детали, схемы защиты».

Анализ информации, содержащейся в опубликованных патентных документах, позволил определить технологический уровень разрабатываемых технических решений, выявить мировые тренды приоритетных технологических направлений развития и определить перспективные направления НИОКР в интересах диверсификации отечественных предприятий. Опираясь на результаты проведённого анализа, можно осуществить конъюнктурное и технологическое исследование экспортных рынков с целью определения их доступности для отечественной продукции, выявить текущее положение конкурентов в занимаемых технологических сферах, включая их патентные стратегии на экспортных рынках.

ЛИТЕРАТУРА

- <https://worldwide.espacenet.com>
- <http://www1.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister®Name=RUPAT>

У истоков квантовой электроники

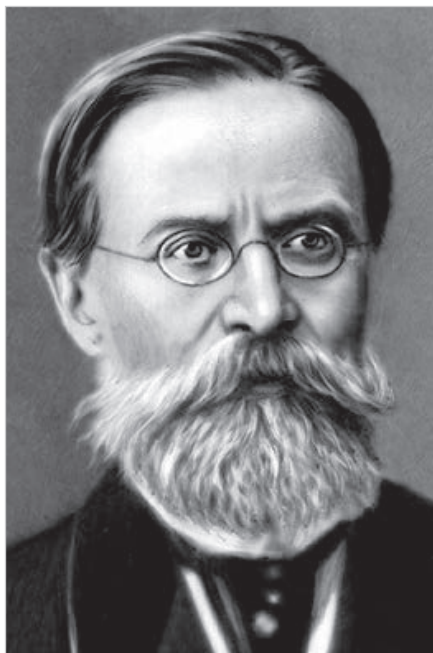
К 180-летию со дня рождения А.Г. Столетова

Владимир Бартнев (bartvg@rambler.ru)

В статье, приуроченной к 180-летию со дня рождения нашего великого соотечественника Александра Григорьевича Столетова, рассказывается о его жизненном пути, достижениях в научных исследованиях и открытиях в годы зарождения электромагнетизма, электромагнитной теории и квантовой электроники в России.

ВВЕДЕНИЕ

Александр Григорьевич Столетов родился 29 июля (10 августа) 1839 года. Родина этого выдающегося учёного, профессора Московского университета – город Владимир [1]. Здесь прошли его детские и юношеские годы. В кремле – древней части Владимира – располагались соборы XII века (Успенский и Дмитриевский), а также казённые каменные здания: присутственные места, дом губернатора, Дом дворянского собрания, мужская гимназия. В одном ряду с Успенским и Дмитриевским соборами, к востоку от них, стоял Рождественский мужской монастырь XII века, напротив которого купцом Д.Я. Столетовым (прадедом А.Г. Столетова) был построен двухэтажный каменный дом в формах позднего классицизма конца XVIII века. Этот дом сохранился до настоящего времени (№ 59 по улице Большой Московской) –



А.Г. Столетов (1839–1896)

ему суждено было стать фамильным наследственным домом Столетовых.

Владимирская семья Столетовых, как и многие другие купеческие семьи, во многом сохраняла традиционные, патриархальные устои, но в то же время это была замечательная, дружная и просвещённая семья. У родителей Александра Григорьевича было шесть детей: четыре сына и две дочери. Александр был четвёртым. Это младшее поколение Столетовых много трудилось, приобретая разносторонние знания. Блестящее университетское образование, соединившись с природной одарённостью, позволило Столетовым встать в ряд лучших представителей российской интеллигенции: Николай Григорьевич Столетов стал генералом от инфантерии, видным военным деятелем, Дмитрий Григорьевич Столетов – генерал-майором артиллерии, а Александр Григорьевич – одним из основоположников физики электромагнетизма, оптики и фотоэлектричества. Он открыл и исследовал законы внешнего фотоэффекта, предвосхитив тем самым его объяснение квантовым характером взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.

Детство А.Г. Столетова

Александр рос живым, общительным, подвижным мальчиком. Воспитанием детей занималась их мать, Александра Васильевна (до замужества Полежаева), которая была сердечной, умной, энергичной и образованной женщиной, любившей художественную литературу, искусство и музыку. Она умело и чутко руководила их занятиями, прививала детям любовь к труду, к книге, поощряла всякое хорошее начинание. Воспитателем она была идеальным и заслужила со стороны всех своих детей глубокую любовь и уважение. Она удачно сочетала в себе качества преданной

матери, друга и наставника. Под влиянием матери Александр рано потянулся к знаниям. Этому способствовало наличие у мальчика незаурядных способностей, проявившихся в самом раннем детстве. Ему ещё не было пяти лет, когда он самостоятельно и независимо для близких научился читать. У него была прекрасная память, что немало помогало ему во всех его увлечениях. Он, например, увлекался поэзией, знал наизусть множество стихов и очень любил декламировать; обожал русскую классику.

Наряду с матерью большое участие в воспитании Александра принимал его старший брат Николай. В 1850 году он с золотой медалью окончил Владимирскую гимназию, затем поступил на математический факультет Московского университета. Завершив свое образование получением степени кандидата математических наук, Николай Столетов решил посвятить себя военной деятельности. Сразу после окончания университета он ушёл на фронт: Россия в это время вела Крымскую войну. Николай Столетов участвовал в героической обороне Севастополя и в этот же период встретился со Львом Николаевичем Толстым и подружился с ним. Выдающиеся качества ума и характера Николая Столетова объясняют его большое влияние на младшего брата.

В детские годы Александр Столетов начинает изучать французский язык, в чём ему помогает старший брат Николай, который заставляет Александра делать переводы, старается разговаривать с ним по-французски. Такая форма занятий, повседневного общения позволила Александру изучить этот язык очень быстро и весьма основательно. Позже Александр Григорьевич также в совершенстве овладел немецким и английским языками. Первокласное знание основных европейских языков, так полезное каждому научному работнику, было особенно необходимо Столетову в его последующей деятельности.

В 1849 году, когда мальчику исполнилось десять лет, родители отдали его во Владимирскую гимназию, сразу во второй класс. Владимирская губернская

гимназия была основана на базе Главного народного училища, начавшего свою деятельность в 1786 году. К моменту, когда в неё был принят А.Г. Столетов, гимназия уже имела почти полувековой опыт в обучении молодых людей. В семи классах гимназии обязательными предметами были русский язык, закон божий, география, история, математика, физика, физическая география, естественная история, немецкий язык, французский язык, черчение и рисование, русское законоведение, а в отделе готовящихся в университет – ещё и латинский язык. Во время учёбы у Столетова появился интерес к точным наукам, главным образом к физике.

Гимназический преподаватель математики и физики Н.Н. Бодров был прекрасным педагогом, творческим, умевшим увлекательно преподнести материал. Уроки физики очень часто сопровождались демонстрационными опытами, показом действующих физических приборов или их моделей. Его уроки были интересны и содержательны. Физика по-настоящему и надолго увлекла Александра Григорьевича. Ему настолько нравились демонстрируемые в гимназии физические опыты, что он старался их повторить в домашних условиях. Мальчик мастерит самодельные приборы, пытается строить машины, при помощи несложных и примитивных приспособлений показывает своим домашним физические опыты, с удовольствием читает книги по физике.

В середине июня 1856 года Александр Столетов успешно заканчивает обучение в гимназии. За отличные успехи ему, как и его старшему брату, была присуждена золотая медаль.

УЧЁБА А.Г. СТОЛЕТОВА В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И ЗА ГРАНИЦЕЙ

Решение Александра Столетова о поступлении в Московский университет было одобрено его домашними (получение образования в этом учебном заведении становилось их семейной традицией), и в середине лета 1856 года он приехал в Москву, где осенью того же года стал студентом математического отделения физико-математического факультета Московского университета.

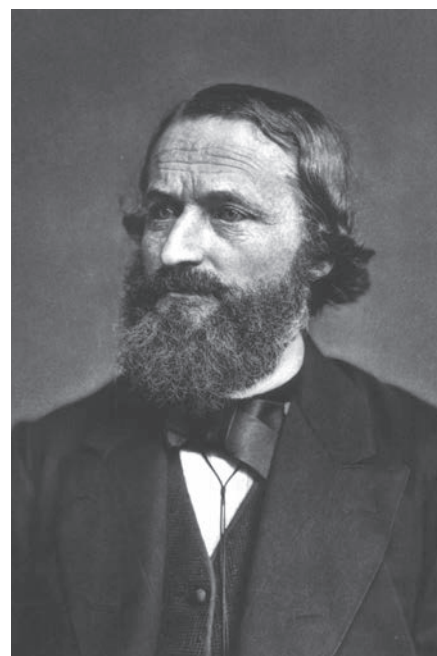
Университетская среда того времени и сами условия эпохи, с резким обострением противоречий, возникших в стране, нарастанием революционных настроений, вызванных поражением

русского самодержавия в Крымской войне, способствовали распространению среди студентов и преподавательского состава революционных взглядов, мыслей и идей, заставляли глубже задумываться над животрепещущими социально-политическими проблемами, злободневными вопросами, волновавшими тогдашнее общество. Не случайно после смерти Николая I сменивший его Александр II в марте 1856 года в своей речи, обращённой к предводителям московского дворянства, подчеркнул, что лучше освободить крестьян от крепостной зависимости, нежели ждать, когда они освободятся сами.

Складывавшаяся революционная ситуация вынудила царское правительство 5 марта 1861 года обнародовать манифест об отмене крепостного права. Это событие привело к быстрому развитию промышленного капитала в России, чему способствовал массовый приток в города на заработки крестьян, вынужденных покидать насиженные места, что было на руку владельцам фабрик и заводов, получивших дешёвую рабочую силу.

Александра Столетова, как и многих его товарищей по университету, конечно, интересовали общественно-политические события, разыгрывавшиеся в стенах университета и за его пределами, но до поры до времени он не принимал в них активного участия. Его полностью поглощали занятия. Отдаваясь целиком наукам, он стремился как можно лучше, полнее и глубже впитать в себя всё то, что провозглашалось с профессорских кафедр. В 1860 году Александр Григорьевич Столетов окончил физико-математический факультет Московского университета со званием кандидата [2]. Задолго до этого на него обратил внимание декан факультета профессор Г.Е. Щуровский, который видел в Столетове человека с незаурядными способностями, преданного науке, серьёзного и трудолюбивого. В Совет университета было подано ходатайство об оставлении Столетова при учебном заведении для подготовки к профессорскому званию. В начале сентября 1861 года вышло соответствующее решение. В жизни А.Г. Столетова начался новый этап.

Весной 1862 года на средства стипендии, специально предназначенной для научной заграничной командировки на 2 года, А.Г. Столетов, как наиболее энергичный, трудолюбивый, с незаурядными способностями и хорошим



Г.Р. Кирхгоф (1824–1887)

знанием иностранных языков специалист, был направлен в Гейдельберг – город, в котором жили и работали такие выдающиеся физики, как Кирхгоф и Гельмгольц.

В Гейдельберге Александр Григорьевич начал посещать лекции по математической физике одного из основоположников спектрального анализа Г. Кирхгофа, находившегося в то время на вершине своей славы. Там же Столетов слушает лекции Гельмгольца, этого удивительного по разносторонности своих научных интересов человека. Летом 1863 года А.Г. Столетов отправился в Геттинген, где слушал лекции Вебера, а также Мейера по теоретической оптике. Через некоторое время Столетов переехал в Берлин. Там он в течение зимы 1863–1864 годов слушал лекции Магнуса, Квинке, Дове и работал в частной физической лаборатории Магнуса. Затем Александр Григорьевич решил вернуться в Гейдельберг к Кирхгофу, который только что открыл физическую лабораторию при университете.

В Гейдельберге Столетов, как и прежде, слушал лекции Кирхгофа по математической физике и очень много работал под руководством этого учёного в лаборатории физического практикума. Совместная работа сблизила их – между ними возникла дружба. В Кирхгофе Столетов видел выдающегося учёного, обогатившего науку рядом ценных открытий. В своём ученике Кирхгоф усмотрел талантливую, настойчивую в достижении цели,

серьёзного и чрезвычайно работоспособного молодого человека, упорно стремящегося овладеть знаниями. Кирхгоф никогда не делал комплиментов своим ученикам и всегда давал им весьма трезвую, а подчас даже суровую оценку. Столетов же он считал своим лучшим учеником. По возвращении в Москву Столетов не порвал связи с Кирхгофом и переписывался с ним на протяжении всех последующих лет, вплоть до его смерти.

В Москву Столетов вернулся в начале 1866 года, пробыв, таким образом, за границей вместо двух лет три с половиной года. Назначенного первоначально срока не хватило для завершения научной программы, и Столетов вынужден был обратиться с просьбой о продлении срока пребывания за границей. Это время совпало с началом интенсивного развития научной деятельности в области физики. В ряде европейских стран начали создаваться физические лаборатории и институты. В различных городах Европы, а затем в Петербурге появились специальные физические практикумы для студентов. Становилось всё яснее, что физика, подарившая миру величайшие открытия, является важнейшей наукой, без развития которой невозможен дальнейший прогресс. Этот процесс стремительного роста научно-исследовательских учреждений, начавшийся в конце 60-х годов XIX века, захватил большинство европейских стран.

Столетов, являвшийся свидетелем этого подъёма интереса к физике и сам прекрасно понимавший выдающуюся роль физических исследований, вернулся в Москву с твёрдым намерением принять активное участие в создании условий, которые могли бы способствовать повышению уровня отечественной физической науки.

ПЕРВЫЕ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ А.Г. СТОЛЕТОВА

Когда Столетов в 1866 году из своей заграничной командировки вернулся в Московский университет, руководитель кафедры опытной физики профессор Н.А. Любимов просил его взяться за чтение курса математической физики, а кроме того, физической географии. Подобное предложение было, пожалуй, наиболее приемлемым для Столетова, поскольку в то время в университете не было физической лаборатории и не имелось никакой возможности вести экспериментальные исследования.

Горя желанием как можно скорее приступить к активной деятельности, Столетов уже в феврале 1866 года начал чтение курсов математической физики и физической географии. Перед ним встала довольно трудная задача: он должен был заново строить свои курсы, главным образом, конечно, курс математической физики, ибо не мог опираться на опыт своих предшественников. Правда, Столетов сам только что слушал блестящие по форме и глубокие по содержанию лекции Кирхгофа, но они были рассчитаны на более подготовленную аудиторию и поэтому могли служить лишь подспорьем в подготавливаемых Александром Григорьевичем курсах.

В течение двенадцати лет Столетов читал студентам курс математической (теоретической) физики, и на протяжении всего этого периода непрерывно совершенствовал его. В результате, по отзывам современников, его лекции всегда отличались блестящей, безукоризненной формой, правильностью языка и высоким научным уровнем. К.А. Тимирязев писал: «Он поставил сначала математическую, а затем экспериментальную физику на высоту, соответствующую их современному развитию» [3].

Не прерывая своей педагогической работы, Столетов начал активно готовиться к защите магистерской диссертации. Перед ним стояла проблема: делать экспериментальную работу вне Москвы, в какой-нибудь гостеприимной лаборатории (ибо в Москве физических лабораторий ещё не существовало), или же приняться за теоретическое исследование. Столетов мог поехать в Петербургский университет к Ф.Ф. Петрушевскому, который в это время интенсивно расширял свой физический кабинет, но такое решение повлекло бы за собой срыв читаемых им курсов. Поэтому вполне естественно, что А.Г. Столетов остановил свой выбор на работе теоретического характера. Темой своего исследования он выбрал вопрос, связанный с теорией электричества, озаглавив его «Общая задача электростатики и приведение её к простейшему случаю». Нужно сказать, что решённая Столетовым задача по своему смыслу содержала больше математических элементов, чем физических. Тем не менее она представляла интерес в равной мере как для физиков, так и для математиков.

15 февраля 1869 года на заседании Московского математического общества Столетов сделал доклад, в котором

изложил общий ход решения задачи и принципы, положенные в основу исследования, а в мае того же года он защитил магистерскую диссертацию. Теоретическая работа А.Г. Столетова, показавшая блестящее знание математического аппарата её автором, в то же время явилась, по существу, прообразом последующих теоретических работ, выполненных в России. Её характерные черты: исключительная чёткость формулируемых положений, простое и изящное изложение, полнота решения.

В том же году Александр Григорьевич стал доцентом. Обладая всеми необходимыми данными для того, чтобы стать теоретиком, А.Г. Столетов всё же отказался от этого пути. С самого начала научной деятельности его влекло к эксперименту. В Москве Столетов одним из первых поставил вопрос об организации физической лаборатории.

По его представлениям, физическая лаборатория должна была стать центром научно-исследовательской работы профессора и его помощников, где студенты могли бы приобретать экспериментальные навыки. Однако для выполнения экспериментов в рамках подготовки выполнения докторской диссертации весной 1871 года Александр Григорьевич вынужден был снова поехать к Кирхгофу в Гейдельберг с просьбой разрешить ему выполнить экспериментальную работу в этом городе, на что получил радужное согласие. По приезду Столетов предпринял опытное исследование, посвящённое изучению зависимости магнитной восприимчивости железа от напряжённости магнитного поля. Нужно заметить, что, будучи в Гейдельберге ещё в 1865 году, Столетов уже интересовался этой проблемой, никем как следует не разработанной. Таким образом, начиная свое экспериментальное изучение этой темы, А.Г. Столетов брался фактически за новый вопрос. В Гейдельберге Столетов пробыл всего лишь полгода, с мая по ноябрь, успев выполнить за этот короткий срок все необходимые опыты, и возвратился в Москву для последующей обработки полученного им материала и написания самой диссертации.

В начале 1872 года диссертация Столетова «Исследование о функции намагничения мягкого железа» была им представлена на факультет. В апреле 1872 года состоялся диспут, который закончился присуждением Александру Григорьевичу учёной степени доктора физических наук. «Исследова-

ние о функции намагничивания мягкого железа» было последним экспериментальным исследованием А.Г. Столетова, проведённым им вне стен университета. В июне 1872 года он был произведён в экстраординарные профессора, а в следующем 1873 году – в ординарные.

СОЗДАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Вскоре после приезда из Гейдельберга, ещё до защиты докторской диссертации, А.Г. Столетов возобновил свои хлопоты по поводу организации физической лаборатории. На этот раз дело увенчалось успехом. Осенью 1872 года факультет получил помещение для устройства в нём лаборатории. По мысли А.Г. Столетова, в лаборатории должен был проходить физический практикум для студентов и проводиться научная работа силами профессоров и сотрудников кафедры. В конце того же года физическая лаборатория была уже готова к приёму студентов – практические занятия по физике начались.

Естественно, что заведующим лабораторией был назначен А.Г. Столетов. Педагогические обязанности отнимали у него очень много времени, кроме того, физическая лаборатория ещё не была достаточно хорошо оборудована. Тем не менее он продолжал заниматься научной работой. Своё новое экспериментальное исследование он посвятил разработке метода измерения отношения электромагнитной единицы количества электричества к электростатической. Причины, побудившие А.Г. Столетова заняться этим исследованием, объясняются его возросшим интересом к трудам выдающегося английского физика Джеймса Максвелла. В своём «Трактате об электричестве и магнетизме» Максвелл показал, что отношение электромагнитной единицы количества электричества к электростатической равняется скорости распространения электромагнитных возмущений в безвоздушном пространстве. Но этот чисто теоретический результат, являвшийся основным, фундаментальным выводом теории, не был подкреплён точными и надёжными опытными данными. Убеждение в необходимости экспериментального доказательства теоретического вывода Максвелла, а кроме того, ясное понимание важности этого доказательства и побудили Столетова взяться за такое сложное научное исследование.

Сам А.Г. Столетов такими словами формулирует цель предпринятой им работы: «Задачу настоящей работы составляет точное определение отношения единиц электромагнитных и электростатических – определение той скорости Максвелла, которая представляет скорость распространения электромагнитных действий в воздухе (или пустоте) и которая, по всей вероятности, не отличается от скорости света в той же самой среде» [4]. Он тщательно продумывал методику и пришёл к выводу, что «среди различных методов, которые применялись для установления величины скорости, существует один, который... может дать весьма точные результаты: это метод абсолютного конденсатора, т.е. конденсатора с воздухом (или вакуумом), ёмкость которого может быть точно вычислена по его форме и размерам» [4].

В 1871 году, ещё будучи в Гейдельберге и работая над своей докторской диссертацией, Столетов заказал конденсатор, который был изготовлен лишь через три года. Таким образом, Столетов начал свои измерения в 1874 году в недавно организованной им физической лаборатории. Эта работа была первым научным изысканием, проведённым учёным не на чужбине, а в своей лаборатории, на создание которой было положено так много труда. Успешно завершив работу по определению отношения электромагнитной единицы количества электричества к единице электростатической, проделанную в физической лаборатории Московского университета, Александр Григорьевич примерно на восемь лет прерывает свою экспериментальную деятельность.

В 1880 году, когда А.Г. Столетов закончил вчерне свою работу по определению величины скорости Максвелла, он уже пользовался широкой известностью как в России, так и за границей. Авторитет его как учёного и педагога уже в то время был велик, что и послужило поводом для избрания его председателем физического отделения Общества любителей естествознания. В течение восьми лет Столетов был целиком поглощён университетскими делами и большой общественной работой, проводившейся им в Москве.

В конце 1882 года профессор Н.А. Любимов, заведовавший кафедрой опытной физики, решил уйти из университета в Министерство просвещения. Заведование кафедрой перешло к А.Г. Столетову. Этот период в жизни



Г.Р. Герц (1857–1894)

Александра Григорьевича был целиком посвящён большой и напряжённой работе на поприще просвещения в самом широком смысле этого слова. Прежде всего он предпринял энергичные хлопоты по переоборудованию физической лаборатории. Получив кафедру опытной физики, он энергично принялся за улучшение читаемого курса, который был им тщательно продуман от начала до конца и, по существу, заново переработан. Новые экспериментальные исследования были им начаты лишь в 1888 году.

ОТКРЫТИЕ А.Г. СТОЛЕТОВЫМ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

В начале 1888 года Александр Григорьевич, несмотря на свою необычайную занятость, сумел выделить время и снова приняться за научную работу. В течение нескольких месяцев напряжённого труда он сделал ряд ценных открытий, принесших ему мировое признание. Явления, изучением которых он так успешно занимался, были названы им актино-электрическими. Теперь их называют фотоэлектрическими. Толчком к началу работы послужили результаты экспериментальных исследований электромагнитных волн, проведённых Генрихом Герцем в Германии.

Занимаясь в 1877 году опытами с электромагнитными волнами, Герц попутно открыл совершенно новое явление. Оно заключалось в том, что искровой разряд, проходивший между двумя электродами, каждый раз облегчался в том случае, когда электроды освещались ультрафиоле-



Внешний вид фотозлемента Ф-4 (из коллекции автора)

товыми лучами. Со свойственным ему чутьём физика, Герц не прошел мимо такого, на первый взгляд, незначительного факта, а сразу же обратил внимание на это явление и всесторонне его исследовал. Результаты этих исследований он изложил в статье «О влиянии ультрафиолетового света на электрический разряд», вышедшей в том же году [5]. Основным вывод, сделанный в статье, – ультрафиолетовое излучение явно облегчает искровой разряд. Это было твёрдо установленным экспериментальным фактом, не имеющим пока какого-нибудь разумного теоретического объяснения, что и подтвердил сам Герц. В то время ни сам он, ни его современники не отдавали себе ясного отчёта, насколько крупную роль сыграет в науке и технике это открытие, получившее впоследствии название внешнего фотоэлектрического эффекта.

Этот круг ещё не разгаданных явлений заинтересовал Столетова. Нужно сказать, что Александр Григорьевич был учёным особого класса с необычайно развитым физическим чутьём. Он всегда очень тонко умел отличать главное от второстепенного и хорошо ощущал актуальность проблемы. Поэтому, когда он начал свои знаменитые актино-электрические исследования, он прекрасно понимал, что подробное и обстоятельное изучение обещает впереди много важного и интересного для науки. Его предположения более чем оправдались в его же собственных работах: Столетову удалось установить основные особенности и закономерности исследуемого им явления и открыть новые. Общепризнано, что актино-электрические иссле-

дования Столетова – наиболее выдающиеся из его научных работ.

Во второй половине февраля 1888 года Столетов начал свои опыты. В этот период изучением внешнего фотоэффекта занимались и другие физики: в Италии – А. Риги, во Франции – Е. Биша и Р. Блондлю, в Германии – Э. Видеман, В. Гальвакс, Г. Эберт. Все они, а особенно Август Риги, были серьёзными исследователями. В своей монографии, обобщающей в основном все его актино-электрические исследования, Столетов писал: «Повторяя в начале 1888 г. интересные опыты гг. Герца, Видемана и Эберта, Гальвакса относительно действия лучей на электрические разряды высокого напряжения, я вздумал испытать, получится ли подобное действие при электричестве слабых потенциалов... Моя попытка имела успех выше ожидания. Первые мои опыты начаты около 20 февраля 1888 г. и продолжались непрерывно, насколько позволяли другие занятия, по 21 июня 1888 г. В течение этого времени мне удалось, полагаю, осветить некоторые любопытные вопросы относительно „актино-электрических действий“» [6].

Столетов установил следующие закономерности внешнего фотоэффекта, не утратившие своего значения до нашего времени:

- наиболее эффективное действие оказывают ультрафиолетовые лучи;
- под действием света вещество теряет только отрицательные заряды;
- сила тока, возникающего под действием света, прямо пропорциональна его интенсивности.

Непонятным для Столетова продолжало оставаться лишь одно: что же всё-таки происходит в процессе поглощения света металлическим диском-катодом? Какова природа возникающего актино-электрического тока? Нужно сказать, что на этот последний вопрос Столетов ответа дать не мог по вполне естественной причине, заключающейся в состоянии физических знаний конца 80-х годов позапрошлого столетия. Ни Герц, ни Столетов, ни Гальвакс, ни Риги, ни Видеман – одним словом, ни один из современников Столетова принципиально не мог дать правильного и тем более исчерпывающего ответа на этот вопрос, потому что в ту эпоху ещё ничего не было известно ни о строении атома, ни о существовании электронов, ни об их способности покидать при известных обстоятельствах пределы тела, ни о квантово-механических законах – могущественных законах естествознания. В связи с этим оконча-

тельная разгадка внешнего фотоэффекта не могла родиться раньше, чем появилась на свет классическая работа А. Эйнштейна, написанная им в 1905 году.

Однако к чести Столетова следует сказать, что он чрезвычайно близко подошёл к раскрытию физической сущности этого явления. Даже самое беглое и сжатое рассмотрение работ выдающегося физика нашей страны показывает, насколько глубоко разбирался он во всех вопросах и насколько дальновиден, прозорлив он был. Это утверждение станет ещё более очевидным, если вспомнить, что исследованием актино-электрического эффекта занималось достаточно большое число крупных физиков и ни один из них не смог установить истинной природы этих явлений. Тем более поразительной является точка зрения Столетова, считавшего, что «в разрядах, происходящих под действием лучей, необходимую роль играет механическая конвекция электричества».

Сущность этого явления заключается в том, что под действием падающего на тело электромагнитного излучения с его поверхности в окружающее пространство вылетают электроны. Открытие электрона принадлежит англичанину Джозефу Джону Томсону в 1897 году, а в 1899 году немецкий физик Ф. Ленард методом отклонения зарядов в электрическом и магнитном полях определил удельный заряд частиц, вырываемых светом из катода, доказав, что эти частицы являются электронами. К сожалению, всё это произошло уже после смерти Столетова.

В 1905 году А. Эйнштейн сформулировал квантовую теорию света, согласно которой, фотоны, поглощённые веществом, в процессе поглощения отдают свою энергию атомам вещества, благодаря чему входящие в их состав электроны приобретают способность преодолевать удерживающие их связи с ядром и с поверхностью тела и вылетают наружу. Явление фотоэффекта и его закономерности были объяснены. Согласно Эйнштейну, свет частотой ν не только испускается, как это предполагал Планк, но и распространяется в пространстве и поглощается веществом отдельными порциями (квантами). Таким образом, распространение света нужно рассматривать не как непрерывный волновой процесс, а как поток локализованных в пространстве дискретных световых квантов, движущихся со скоростью распространения света в вакууме ($c=3 \times 10^8$ м/с). Кванты

электромагнитного излучения получили название фотонов.

Квантовая теория Эйнштейна позволила объяснить и ещё одну закономерность, установленную Столетовым. В 1888 Столетов заметил, что фототок появляется почти одновременно с освещением катода фотоэлемента. Согласно классической волновой теории, электрону в поле световой электромагнитной волны требуется время для накопления необходимой для вылета энергии, поэтому фотоэффект должен протекать с запаздыванием по крайней мере на несколько секунд. По квантовой теории же, когда фотон поглощается электроном, вся энергия первого переходит к последнему, при этом никакого времени для накопления энергии не требуется.

Спектральная характеристика вакуумного фотоэлектронного прибора определяется типом фотокатода, его толщиной, материалом подложки и окна (баллона) прибора. Приведём характеристики современного вакуумного фотоэлемента типа Ф-4:

- Назначение. Фотоэлемент типа Ф-4 вакуумный с сурьмяно-цезиевым (SbCs) фотокатодом со световым окном из увиолевого стекла (обладающего повышенным пропусканием ультрафиолетового излучения) предназначен для спектрофотометрических измерений.
- Основные технические данные. Катод сурьмяно-цезиевый массивный расположен на внутренней поверхности стенки баллона. Область спектральной чувствительности 215...600 нм. Наибольшая высота выводов 104 мм. Рабочее напряжение 30 В.
- Предельные условия эксплуатации. Область спектральной чувствительности 215...600 нм. Наибольшее напряжение питания 100 В.
- Параметры фотоэлемента. Спектральная чувствительность при длине

волны 600 нм составляет 9,4 мкА/мВт. Спектральная чувствительность при длине волны 400 нм составляет 65,8 мкА/мВт. Фототок при длине волны 215 нм и ширине щели спектрофотометра СФ-4, равной 2 мм, – 74×10^{-12} А. Темновой ток при температуре окружающей среды +18...+25°C – $0,6 \times 10^{-12}$ А.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

А.Г. Столетов был одним из блестящих российских ученых. Он внёс огромный вклад в развитие физики, и этот вклад состоит из нескольких элементов: результатов его экспериментальных и теоретических исследований, его книг, монографий, статей, лекций, речей, выступлений, его труда по воспитанию молодых учёных, работы на общественном поприще, чувства гражданственности, честности, принципиальности. Окидывая ретроспективным взглядом всю деятельность Столетова и пытаясь установить её связь с современностью, мы с удовлетворением находим её зримые черты в физике наших дней. Кратко подведём итоги научной деятельности профессора Александра Григорьевича Столетова.

Он первым установил закономерность, проявляющуюся в том, что при увеличении намагничивающего поля магнитная восприимчивость железа сначала растёт, а затем, после достижения максимума, уменьшается, и снял кривую магнитной проницаемости ферромагнетика (кривая Столетова).

Кроме того, Столетов экспериментально измерил величину отношения электромагнитных и электростатических единиц, близкую к скорости света; установил три закона фотоэффекта; провёл цикл работ по изучению внешнего фотоэффекта, открытого в 1887 году Г. Герцем; создал первый фотоэлемент, основанный на внешнем фотоэффекте; открыл прямо пропор-

циональную зависимость силы фототока от интенсивности падающего на фотокатод света (закон Столетова).

Научные заслуги А.Г. Столетова были высоко оценены как в России, так и за рубежом. В 1877 году он был награждён орденом Святой Анны 2-й степени, в 1885-м – орденом Святого Владимира 3-й степени; в 1889-м – орденом Святого Станислава 1-й степени. В 1882 году был награждён французским орденом Почётного легиона. В 1884 году награждён медалью за деятельность на пользу общества и Политехнического музея Москвы Обществом любителей естествознания, антропологии и этнографии.

Александр Григорьевич Столетов прожил сравнительно короткую жизнь, которую он целиком отдал служению науке и народу. Среди всех деятелей науки России мы с особой признательностью вспоминаем этого замечательного учёного и гражданина, чья яркая научная деятельность всегда будет служить примером для будущих поколений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Столетов Александр Григорьевич // Большая советская энциклопедия: в 30 т. – М.: Советская энциклопедия, 1969.
2. Соколов А.П. Александр Григорьевич Столетов. Биографический очерк. ЖРФХО, ч. физ., 1897, т. 29, № 2. С. 25–74.
3. Тимирязев К. А. Сочинения, т. V. – М.: Сельхозгиз, 1938. С. 254–278.
4. Столетов А.Г. Собрание сочинений, т. I. – М.-Л.: Гостехтеоретиздат, 1939. С. 177.
5. Герц Г. О действии ультрафиолетового света на разряд электричества. «50 лет волн Герца». – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 136.
6. Столетов А.Г. Актино-электрические исследования. – СПб.: Тип. В. Демакова, 1889. 48 с.: <http://e-heritage.ru/ras/view/publication/general.html?id=42070560>
7. А.Г. Столетов. Летопись Московского университета: <http://letopis.msu.ru/peoples/1033>



НОВОСТИ МИРА

Микрон приглашает ознакомиться с хай-тек продуктами резидентов ОЭЗ «Технополис «Москва»

Микрон представляет отрасль микро- и нанoeлектроники в постоянной экспозиции высокотехнологичных продуктов компаний-резидентов особой экономической зоны (ОЭЗ) «Технополис «Москва». Среди представленных ро-

дуктов завода – ID-продукты и RFID-решения под потребности цифровой экономики.

Микрон имеет статус резидента особой экономической зоны «Технополис «Москва» с 2015 года. ОЭЗ создана для развития инновационной экосистемы города, объединяет 6 высокотехнологичных отраслей и более 130 компаний, занятых в сферах микроэлектрони-

ки, приборостроения, информационных и телекоммуникационных технологий, производства медицинского оборудования, биотехнологий, фармацевтики и нанотехнологий.

Ознакомиться с выставкой можно в административно-деловом центре ОЭЗ «Технополис «Москва» на площадке «Алабашево».

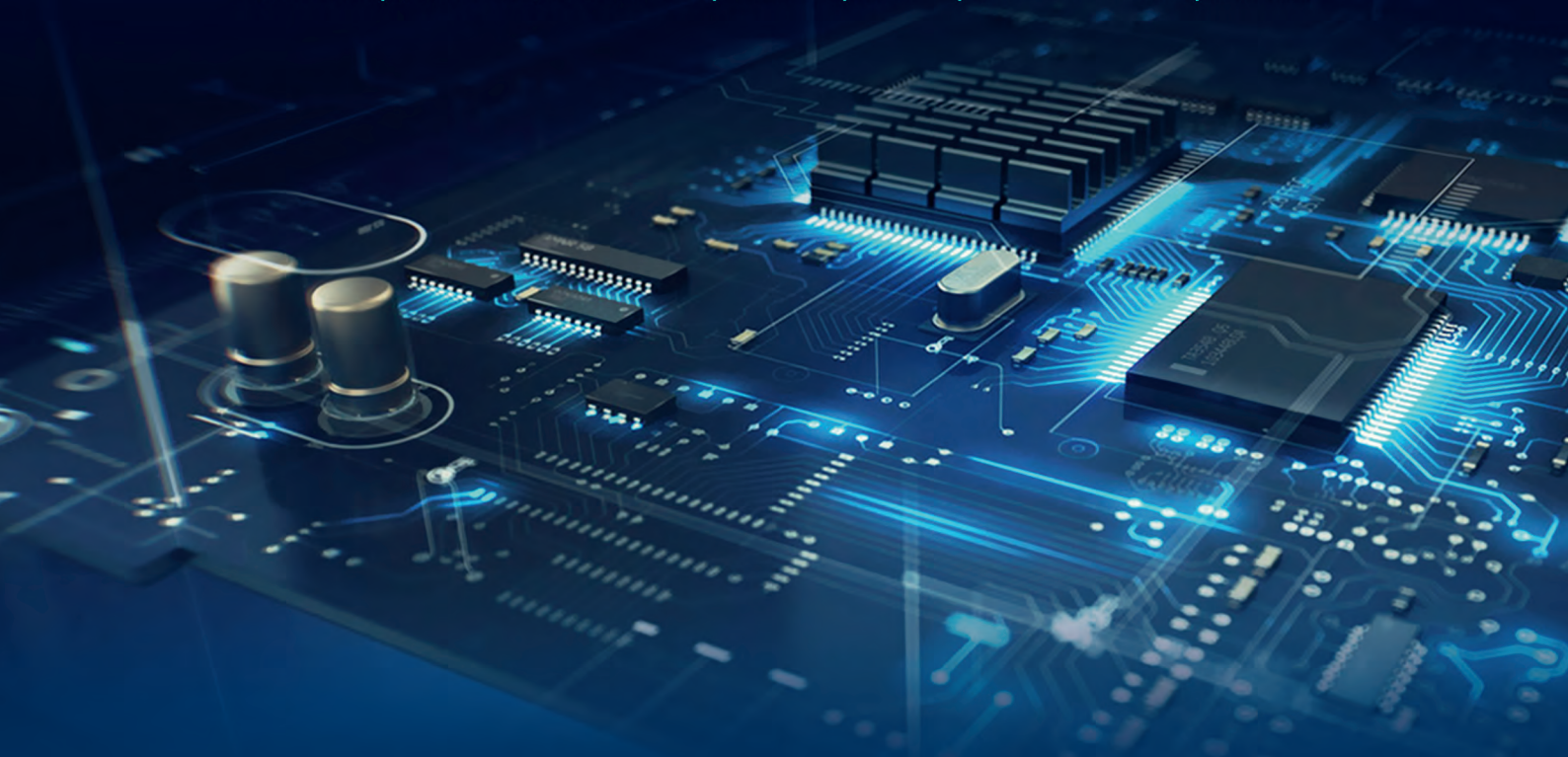
Пресс-служба ПАО «Микрон»

📅 16 октября / Москва

📍 Отель Novotel Москва Сити, Пресненская наб., 2

ДЕНЬ РАДИО ЭРЕМЕКС

Семинар, посвящённый вопросам проектирования электроники



Что вас ждет

- Анонс новой версии САПР Delta Design
- Доклады экспертов и технологических партнёров ЭРЕМЕКС
- Доклады заказчиков об опыте внедрения САПР Delta Design
- Демонстрационная зона, в которой будут подготовлены терминалы для «живой» демонстрации Delta Design и всех ее модулей
- Вкусные кофе-брейки

Викторина и розыгрыш умной колонки Яндекс.Станция

В рамках конференции Белые Ночи САПР, прошедшей 28–30 мая, разработчик компании Яндекс. Технологии рассказал об опыте применения САПР Delta Design TopoR для создания проектов печатных плат для умного помощника с Алисой внутри — Яндекс. Станции.

Компания ЭРЕМЕКС разыгрывает среди участников семинара этого умного помощника.





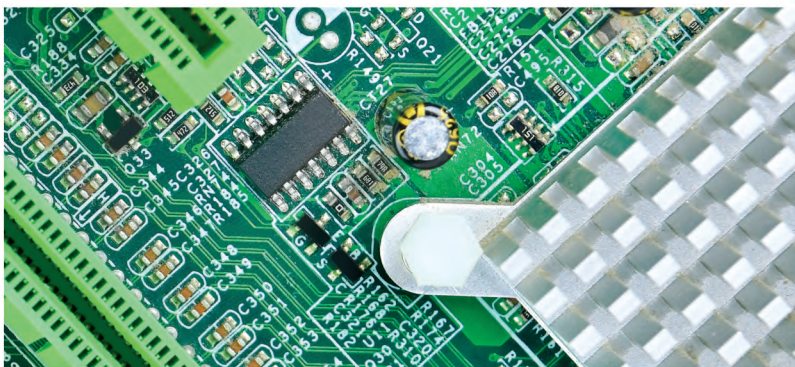
E·X·P·O
ELECTRONICA



Самая крупная в России
выставка электронных
компонентов, модулей
и комплектующих

14-16 апреля 2020

Москва, МВЦ «Крокус Экспо»



Ключевые темы:

5G IoT AI

Приглашаем к участию
производителей и поставщиков ЭКБ,
комплектующих и ПО для:

- Базовых станций для 5G
- Ядер сети
- Транспортных сетей
- Приложений для 5G
- Абонентских устройств
- Систем IoT и искусственного интеллекта



**Ваш
компонент
успеха!**

expoelectronica.ru



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (499) 750-08-28
electron@ite-expo.ru

Совместно с выставкой



**ELECTRON
TECHEXPO**

Реклама

Нажатием одной кнопки...

Новый векторный анализатор цепей R&S®ZNA

- 4 фазокогерентных генератора / 2 гетеродина / 8 приёмников
- Достижимый динамический диапазон 170 дБ для измерения фильтров
- Удобная и быстрая настройка измерений «от испытуемого устройства»
- Выходная мощность до +20 дБм и диапазон перестройки 100 дБ для тестирования усилителей



Хотите узнать подробности?
www.rohde-schwarz.com/ru/product/zna

