

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

9

2020

ТЕПЕРЬ И НА  YouTube

О НАДЁЖНЫХ КОММУНИКАЦИЯХ: RF-ТЕХНОЛОГИИ НА ПОЛЕ БОЯ

В номере:

Как выбрать
тонкоплёночный дисплей

Автоматные алгоритмы
безотказного управления

Контроль обрыва фаз
в мощных асинхронных
приводах

Защита электроники
при ядерном взрыве

Анализ процессов
в импульсных ксеноновых
лампах

Современные DC-DC
источники питания

и многое другое...



Поверьте и настройте Ваши СИ в ЦСМ Keysight



Ваши технические системы, критически важные для решения ответственных задач, должны обеспечивать безотказную работу в любых условиях. Именно поэтому Центр Сервиса и Метрологии Keysight получил аккредитацию на право поверки СИ и готов обеспечивать комплексное ТО измерительных приборов Keysight, Agilent, HP.

Оригинальные запчасти, автоматизированные ПО для проведения полного тестирования, калибровки и настройки СИ по методике завода-изготовителя, опытный персонал - все это позволяет выполнять полное обслуживание СИ в соответствии с требованиями завода-изготовителя максимально качественно и в сжатые сроки. Будьте уверены в точности Ваших измерений и надёжности Вашей продукции!

Аттестат Аккредитации ООО «Кейсайт Текнолоджиз» (ЦСМ Keysight) на право поверки СИ № RA.RU.310579 от 02.02.2015

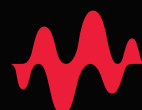
80
лет

опыта в электронных
измерениях

50
лет

сотрудничества и
инноваций в России

www.keysight.com/find/poverka

 **KEYSIGHT**
TECHNOLOGIES



kontron

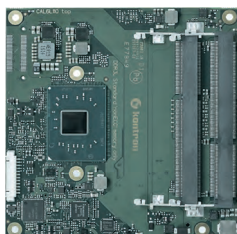
S&T Group

IoT и AI платформы для OEM ПРОФЕССИОНАЛОВ

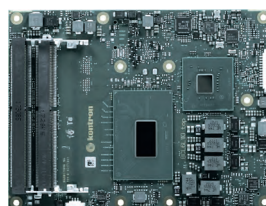


КОМПЬЮТЕРЫ НА МОДУЛЕ

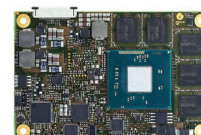
COM Express®



COMe-bCL6



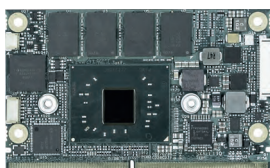
COMe-cTL6



COMe-mEL10

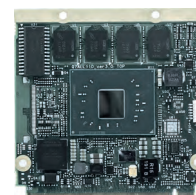
- COMe-bCL6: Жизненный цикл минимум до 2030 года.
- COMe-cTL6: 11-е поколение процессоров Intel Core i3/i5/i7 с искусственным интеллектом (AI) и революционной графикой Intel Iris Xe
- COMe-mEL10: Процессоры серии Intel Atom x6000E для перспективных IoT устройств с поддержкой TSN и графикой Intel UHD (3x4Kp60).
- Промышленное исполнение: -40 +85°C

SMARC
module



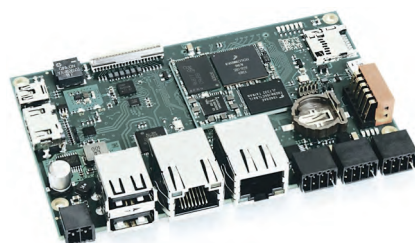
SMARC-sXEL

QSEVEN



Qseven-Q7AL

СИСТЕМЫ НА МОДУЛЕ



Плата разработчика
SOM – BL i.MX8M



Модуль
SOM-SL i.MX8M Mini

RTSoft
WWW.RTSOFT.RU

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР
В РОССИИ И СНГ**

ЗАКАЖИТЕ комплект разработчика
на сайте www.rtssoft.ru
до 23 февраля 2021 года
со **СКИДКОЙ 20%**
по коду: **TIGER**



MARKET**4 Russian Market News****MODERN TECHNOLOGIES****8 Modularity in Manufacturing Technology: How Far Do You Want to Go in Miniaturization?***Jakob Duck***12 Thin Film Electroluminescent Structures vs. Electroluminescent Backlights and LEDs***Victor Zhdankin***DEVICES AND SYSTEMS****16 Calculation of the Intrinsic Impedance of Ferrite Bushings in Electrical Circuits Based on Measurements in the Time Domain. Part 2***Nikolay Lemeshko, Mikhail Gorelkin, Pavel Strunin***22 Modern DC/DC Power Supplies from TDK Lambda***Yuriy Petropavlovskiy***ENGINEERING SOLUTIONS****28 Peripherals for Meter-Regulator***Sergey Shishkin***34 The High-Resolution Digital Voltmeter.***Alexey Kuzminov***38 On the Necessity and Possibility of Monitoring the Presence of Power Voltage During the Operation of the FED***Ilya Strukov***COMPETENT OPINION****44 'Uncontrolled' Combat Robots and Drones***Alexey Galitsyn***DESIGN AND SIMULATION****53 Designing Digital Microcircuit Model with Altium Designer. Part 3***Yuri Legan***56 Physical and Mathematical Modeling of Energy Processes in Impulsive Straight Xenon Lamps, Operating in Electrical Circuits.***Part 1**Yuriy Mandryko, Alexandr Chirtsov***62 Formal Deductive Analysis of an Automaton Algorithm for Controlling an Endogas Generator Using the Rodin Platform. Part 1. Determination of the Requirements for the Reliability and Safety of the Endogas Generator***Maxim Neizov***64 Design of Printed Circuit Boards of High-Speed Digital Circuits with CAD Delta Design***Sergey Popov***70 Comparative Tests of Surge Voltage Limiters to Protect Electronic Equipment of Power Systems from an Electromagnetic Pulse of a High-Altitude Nuclear Explosion***Vladimir Gurevich***75 MAGAZINE SUBJECT INDEX 2020****Журнал «Современная электроника»**

Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков

Заместитель главного редактора Д. А. Трофимов

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

А. А. Красильников, С. А. Сорокин, Р. Х. Хахимов

Вёрстка А. М. Бабийчук

Обложка Д. В. Юсим

Распространение А. Б. Хамидова (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.)

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, 2020

ПОДПИСКА**БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ**

на электронную версию журнала. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление каждый год.

ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА на печатную версию –

это гарантированное получение журнала по любому указанному вами адресу!

С УСЛОВИЯМИ ОФОРМЛЕНИЯ ПЛАТНОЙ ПОДПИСКИ
МОЖНО ОЗНАКОМИТЬСЯ НА САЙТЕ WWW.SOEL.RU

СОДЕРЖАНИЕ 9/2020

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

RTSoft.	1, 5
EREMEX.	65
Huve.	33
ICAPE Group	7, 27
JTAG	55
Keysight Technologies	2-я стр. обл.
ProChip	15
Raystar Optronics, Inc	4, 7
Symmetron	23
XP Power	4
АО «Морион».	5
Магнетон	4-я стр. обл.
ПРОСОФТ.	4, 21, 43

Читайте в «СТА» №1/2021 :

Sensorik 4.0: второе дыхание канбана

Зона покрытия: надёжный Wi-Fi для промышленной автоматизации

Знакомые все веены: PLUSOpenVein Toolkit упрощает биодентификацию

SCHROFF на железной дороге: инфраструктура 5G и IIoT на базе платформы nVent

От PLC до PAC: развитие вычислительных платформ для Интернета вещей



Оформляйте подписку на журнал «СТА» и читайте печатную версию или электронную версию на сайте www.cta.ru

РЫНОК

4 Новости российского рынка

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

8 Модульность в технологиях производства: как далеко вы хотите зайти в миниатюризации?

Якоб Дюк

12 Тонкоплёночные электролюминесцентные структуры против электролюминесцентной подсветки и светодиодов

Виктор Жданкин

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

16 Расчёт собственного импеданса ферритовых втулок в составе электрических цепей на основе измерений во временной области. Часть 2

Николай Лемешко, Михаил Горелкин, Павел Струнин

22 Современные DC/DC-источники питания компании TDK Lambda

Юрий Петропавловский

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

28 Периферия для измерителя-регулятора

Сергей Шишкин

34 Цифровой вольтметр с высоким разрешением. Часть 2. Программные средства

Алексей Кузьминов

38 О необходимости и возможности контроля наличия силового напряжения при работе СЭГП

Илья Струков

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

44 «Неуправляемые» боевые роботы и беспилотники

Алексей Галицын

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

53 Разработка модели цифрового компонента в Altium Designer. Часть 3

Юрий Леган

56 Физико-математическое моделирование энергетических процессов в импульсных прямых ксеноновых лампах, работающих в электрических схемах. Часть 1

Юрий Мандрыко, Александр Чирцов

62 Формальный дедуктивный анализ автоматного алгоритма управления генератором эндогаза с помощью платформы Rodin. Часть 1. Определение требований надёжности и безопасности работы генератора эндогаза

Максим Нейзов

64 Разработка печатных плат высокоскоростных цифровых схем средствами САПР Delta Design

Сергей Попов

70 Сравнительные испытания ограничителей импульсных напряжений для защиты электронного оборудования энергосистем от электромагнитного импульса высотного ЯВ

Владимир Гуревич

75 СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА ЗА 2020 ГОД

Новости российского рынка

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ 3-кВт ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ AC/DC С ПОВЫШЕННЫМ ВЫХОДНЫМ НАПЯЖЕНИЕМ ОТ 150 ДО 400 В

Компания XP Power объявила о расширении серии 3-кВт источников питания AC/DC HDL3000. Модельный ряд пополнился источниками питания с выходными напряжениями от 150 до 400 В. У всех моделей имеется функция регулирования выходного напряжения и тока в диапазоне от 0 до 105% через интерфейс I²C. Регулирование осуществляется с помощью уровня напряжения (аналогового управления) или внешнего резистора.

С выходной мощностью до 3000 Вт и новыми более высокими выходными напряжениями серия HDL3000 может использоваться во многих применениях, где требуется регулируемое высокое напряжение, например при имитации батарей и автоматизации, при создании лазеров, катодной защиты и нанесении гальванических покрытий, а также в робототехнике, во время испытаний и измерений.

Доступны пять вариантов выходного напряжения: 150, 200, 250, 300 и 400 В. Каждая модель также оснащена дополнительными выходными каналами для организации дежурного

режима (5 В/0,5 А и 9 В/0,3 А), которые задаёт пользователь. Выходное напряжение может быть подстроено в диапазоне $\pm 5\%$ внутренним потенциометром. Для применений, требующих более высоких значений тока, до 5 модулей могут быть включены параллельно с активным распределением тока между модулями.

Встроенный интерфейс I²C передаёт последовательно данные для управления и контроля источником питания: «Разблокирование» (Enable), «Распределение тока» (Current share), «Программирование напряжения» (V program), «Программирование тока» (I program), для дежурного режима можно выбрать 5 или 9 В.

Светодиодный индикатор на передней панели также обеспечивает визуальную индикацию следующих режимов: DC OK, «Блокировка выхода», «Перенапряжение на выходе», «Перегрузка», «Перегрев», «Отказ вентилятора», «Отказ выходного канала 5 В/9 В».

Диапазон напряжения сети: от 90 до 264 В. Когда работа осуществляется при входных напряжениях менее 180 В, максимальная мощность ограничивается до 2000 Вт. При работе от напряжений в диапазоне 180...264 В обеспечивается максимальная

мощность 3 кВт, КПД достигает 92% при высоком входном напряжении и полной нагрузке.



Охлаждение модуля осуществляется принудительным воздушным потоком, создаваемым встроенным вентилятором. У вентилятора регулируется скорость вращения. Минимизировать низкочастотный шум можно в диапазоне температур от -20 до $+60^{\circ}\text{C}$ (понижается линейно от 100% в диапазоне от $+50$ до $+60^{\circ}\text{C}$). Охлаждающий воздух всасывается через переднюю панель корпуса и выходит через заднюю панель. Металлический корпус имеет размеры $317 \times 170 \times 64$ мм. Все соединители установлены на задней панели. Среднее время наработки до отказа, рассчитанное по военному справочнику MIL-HDBK-217F для условий эксплуатации в стационарном наземном оборудовании при температуре $+25^{\circ}\text{C}$, составляет 90 000 ч.

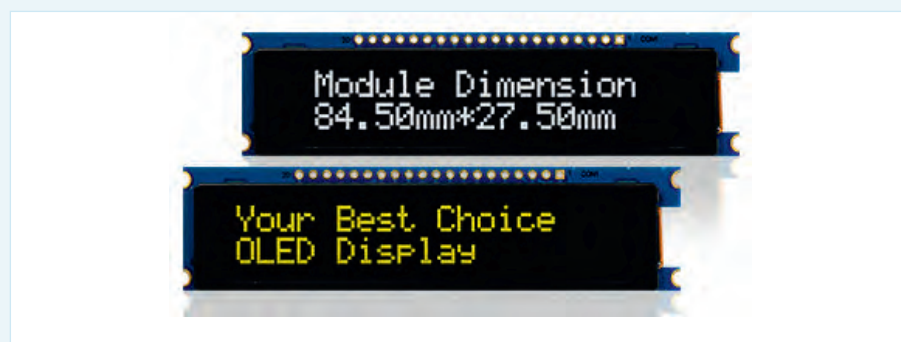
ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

ТЕКСТОВЫЙ OLED-ДИСПЛЕЙ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С РАМКой

Компания Raystar Optonics, Inc. начала выпуск текстового двухстрочного дисплея OLED REP002002A с 20 символами в одной строке. Дисплей создан с применением одной из базовых технологий соединения кристаллов драйверов с выводами на стеклянной подложке дисплея – «кристалл на стекле» (COG – Chip On Glass).

Печатная плата этого дисплейного модуля с четырьмя крепёжными отверстиями позволяет закреплять модуль без усилий. Одной из особенностей этого дисплейного модуля является встроенное ПЗУ, содержащее различные наборы шрифтов (например, ASCII – американский стандартный код для обмена информацией). Поддерживаются английский и японский языки.

Цель конструкции – сделать дисплейный модуль более удобным для пользователя. Модуль новой конструкции снабжён печатной платой, что позволяет экономить время



пользователям, которые предпочитают не разрабатывать собственную печатную плату. Кроме того, объединение интерфейсного комплекта со схемой формирования напряжения питания делает дисплей ещё проще в применении.

2,93-дюймовый текстовый OLED-дисплей хорошо подходит для «умного дома», систем интеллектуального управления, медицинской аппаратуры, различных промышленных решений и т.д.

Основные характеристики:

- формат: 20 символов $\times$ 2 строки;

- размер экрана по диагонали: 2,93";
- габаритные размеры: $92,3 \times 23,3 \times 7$ мм;
- видимая область экрана: $73,52 \times 11,52$ мм;
- размер пикселя: $0,62 \times 0,67$ мм;
- шаг пикселя: $0,65 \times 0,7$ мм;
- размер знакоместа: $3,22 \times 5,57$ мм;
- шаг расположения знаков: $3,7 \times 5,95$ мм;
- коэффициент мультиплексирования строк: 1/16;
- цвета свечения экрана: жёлтый и белый;
- микросхема драйвера: SSD1311;
- интерфейсы: 6800, 8080, SPI, I²C.

ТЕРМОСТАТИРОВАННЫЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР ГК317-ТС- 1000МГц производства АО «Морион»

Компания АО «Морион» представляет улучшенный высокочастотный малошумящий генератор ГК317-ТС с блоком умножения частоты. Устройство работает в широком диапазоне номинальных частот 48 ...1250 МГц, что достигается комбинированием коэффициента умножения и частоты опорного генератора. Проработанная схема умножителя позволяет получать высокочастотный сиг-

нал с деградацией фазового шума, близкой к теории. Данный генератор является компактным (25×25×10,3 мм) решением для применения в измерительном оборудовании, телекоммуникационных системах, ра-
дарах, GPS и ГЛОНАСС.

Уровень фазового шума на частоте 1 ГГц при отстройке 100 кГц	-154 дБ/Гц
Уровень сигнала, не менее	400 мВ
Подавление субгармонических составляющих, не хуже	55 дБ
Нестабильность частоты в диапазоне температур -40...+70°C	±1×10 ⁻⁷
Выходной сигнал	SIN
Питание	5 В (12 В)

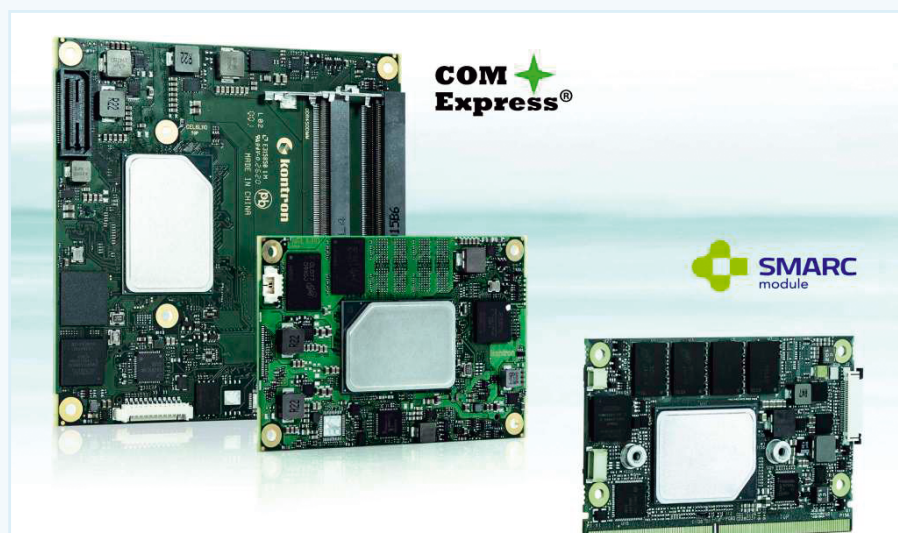


«КОМПЬЮТЕРЫ-НА-МОДУЛЕ» COM Express и SMARC НА НОВЕЙШИХ ПРОЦЕССОРАХ INTEL АТОМ x6000E для устройств Интернета вещей

«РТСофт» и международный холдинг Kontron, ведущий мировой поставщик решений и услуг в области встраиваемых технологий и Интернета вещей, анонсировали поддержку новой серии процессоров Atom x6000E (Elkhart Lake) на процессорных модулях.

Впервые были представлены три новых продукта на базе процессоров следующего поколения со сроком доступности серийных изделий в первом квартале 2021 года: COMe-cEL6, COMe-mEL10 и SMARC-sXEL. Все три платформы поддерживают широкий пул процессоров: Intel Atom x6000E, Pentium и Celeron серии N и J, которые были разработаны специально для IoT-устройств. Модели поставляются в разных конфигурациях: от двухъядерных до четырёхъядерных с частотой до 3 ГГц.

Новое поколение «компьютеров-на-модуле» отличается высокой производительностью и энергоэффективностью, что обеспечивает впечатляющие показатели соотношения производительности на ватт. Модули подходят для использования в режиме реального времени в сложных промышленных условиях. В сочетании с 10-нм вычислительными и графическими процессорами Intel UHD graphics с функциями ввода-вывода в рамках платформенных решений для приложений Интернета вещей модуль является эффективным решением для различных задач. Используя до 4 процессорных и 32 графических ядер, система имеет почти 1,7-кратный прирост производительности ЦПУ и двукратный прирост графики по сравнению с предыдущим поколением, сохраняя при этом TDP до 12 Вт.



Для повышенной временной точности в процессорных модулях реализована поддержка технологий Intel Time Coordinated Computing (TCC) и Time-Sensitive Networking (TSN). Процессоры серии Intel Atom x6000E, а также Pentium и Celeron серии N и J обеспечивают более высокий уровень безопасности данных по сравнению с предыдущим поколением.

Из-за низкого энергопотребления модули не требуют активного охлаждения своих компонентов. Типичной областью применения таких устройств являются IoT-шлюзы, компьютерные системы управления и ввода данных в промышленности, защищённые мобильные устройства, а также POS-терминалы, информационные киоски и решения Digital Signage.

Все три «компьютера-на-модуле» поставляются в промышленном исполнении и имеют диапазон рабочих температур от -40 до +85°C, память с коррекцией ошибок (ECC), а также долгосрочный срок эксплуатации от десяти и более лет. Это удовлетворяет особым требованиям приложений для транспортного рынка и промышленности. Модули поставляются с поддержкой BSP для Windows 10 IoT Enterprise, Linux и VxWorks 7.0.

Подробнее о каждой модели процессорных модулей

«Компьютер-на-модуле» [COMe-cEL6](#) обеспечивает возможность установки до 32 Гб памяти DDR4-3200 через 2 разъёма SODIMM, поддерживает 3 дисплея, 6 линий PCIe 3.0, 1GBASE-T Ethernet, (+2 дополнительных порта SGMII), до 4 портов USB 3.1/2.0, 4 интерфейса USB 2.0, 2 порта SATA и опциональную флеш-память eMMC.

«Компьютер-на-модуле» [COMe-mEL10](#) предназначен для компактных решений, поддерживает до 16 Гб памяти LPDDR4, 2 интерфейса USB 2.0, 2 порта SATA, запаянную флеш-память eMMC, 1GBASE-T и 2 дополнительных порта SGMII.

«Компьютер-на-модуле» [SMARC sXEL](#) хорошо подходит для приложений с ультратонким дизайном. Он имеет до 16 Гб памяти формата LPDDR4, 2 интерфейса USB 3.1 и 4 USB 2.0, порт SATA, встроенный eMMC, 2 порта Ethernet 1GBASE-T и дополнительный порт SGMII.

Получить дополнительную информацию о модулях и заказать тест-драйв оборудования можно в компании «РТСофт», у стратегического партнёра холдинга Kontron в России и странах СНГ.

Впервые в России освоен выпуск полностью экранированных малогабаритных силовых дросселей поверхностного монтажа

Полностью экранированные дроссели предназначены для накопления энергии во вторичных источниках питания с высокой плотностью компоновки деталей, например в источниках питания активных фазированных антенных решёток (АФАР).

Семейство дросселей, состоящее из 31 различного конструктивного типа индуктивностей, имеет общую нумерацию Д372.

Высокие рабочие токи при малых габаритах достигаются за счёт использования металлопорошковых магнитодиэлектриков с высокой индукцией насыщения и низкими удельными потерями. Из этих материалов делаются как полностью экранированные, так и полукра-

нированные дроссели. В последнем случае путём уступки в миниатюрности достигаются более высокие токи насыщения.

Электрическое сопротивление изоляции между обмоткой и корпусом (сердечником) (не менее 500 В) в НКУ.

Дроссели устойчивы к:

- воздействию синусоидальной вибрации при частотах 10–2000 Гц, амплитуда ускорения – до 20 g, амплитуда перемещения 2 мм;
- воздействию ударов с пиковым ударным ускорением до 202 g;
- воздействию повышенной и пониженной температуры –60 до +125°C;
- воздействию повышенной влажности;
- пониженному атмосферному давлению до 10^{-6} мм рт. ст.

Тел.: (812) 213-3535;

e-mail: sales@magneton.ru;

www.magneton.ru

Индуктивность $\pm 20\%$ от номинала	Ток	Габариты
от 0,1 до 10 мкГн на частоте 1000 кГц	до 20 А	от 2,4×1,9×1,2 до 7,0×6,3×3,1 мм
от 0,1 до 100 мкГн на частоте 100 кГц	до 80 А	от 4,2×4,0×1,8 до 17,6×17,0×7,0 мм



Соединительные переходные втулки для конфигурирования DC/DC-преобразователей

Корпуса модулей DC/DC-преобразователей напряжения и фильтров электромагнитных помех с боковым расположением выводов предлагает компания Crane Electronics под торговой маркой Interpoint®. Корпуса оснащаются соединительными переходными втулками – так обеспечивается возможность приспособления к различным конструктивным компоновкам. Эти универсальные втулки насаживаются на концы выводов модулей и припаиваются с целью получения компоновки с выводами, направленными вверх или вниз.

Соединительные втулки сделаны из медного сплава Cu-70210 с низким электрическим сопротивлением. Сплав имеет удельную электропроводность, аналогичную электропровод-

ности меди. Толщина гальванического покрытия равняется 50 мкм (0,12 мм) из мягкого припоя – 60% олова и 40% свинца – поверх электролитического никелевого покрытия толщиной от 100 до 200 мкм (от 2,5 до 5 мм).

Структура с низким сопротивлением из медного сплава минимизирует падение напряжения на соединительной втулке. Например, во время работы модуля преобразователя напряжения MFL2805S при полной нагрузке (10 А) падение напряжения по всей длине втулки составит 30 мВ. У одноканальных модулей с функцией внешней обратной связи падение напряжения может быть скомпенсировано, если это потребуется. Чтобы предотвратить нежелательное оплавление припоя, рекомендуемый высокотемпературный припой Sn96 соединяет втулку к соединителю преобразователя, припой Sn97 соединяет вывод к плате.

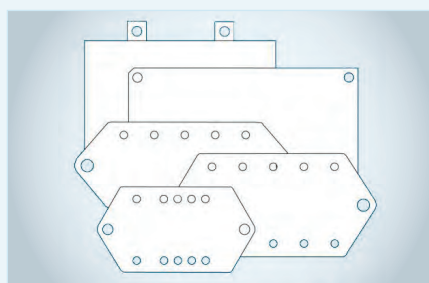
Соединительные переходные втулки совместимы со следующими изделиями Interpoint:

- DC/DC-преобразователями серии MFL;
- DC/DC-преобразователями серии MFP0507S;
- DC/DC-преобразователями серии MOR;
- фильтрами электромагнитных помех FMCE-1528 и FMCE-0828-SL – преобразователями серии MOR;
- радиационно-стойкими DC/DC-преобразователями серии SMFL и SMFLHP;
- радиационно-стойкими DC/DC-преобразователями серии SMP120;
- радиационно-стойкими DC/DC-преобразователями серии SMRT;
- фильтрами электромагнитных помех SFME;
- модулями нормализатора напряжения шины LCM-120.

www.prosoft.ru

Электроизолирующие и теплопроводящие эластичные прокладки для DC/DC-преобразователей INTERPOINT®

Теплопроводящие эластичные прокладки серии TMP-1XX компании Interpoint® образуют простой и эффективный канал между DC/DC-преобразователем и монтажной плоскостью с низким тепловым сопротивлением. При размещении между преобразователем и монтажной платой или теплоотводом прокладки TMP-1XX обеспечивают электрическую изоляцию и заполняют небольшие неровности поверхности. Теплопроводящие прокладки TMP-1XX обеспечивают тепловое сопротивление $213^{\circ}\text{C}\cdot\text{мм}^2/\text{Вт}$ при прижимном усилии 345 кПа или $129^{\circ}\text{C}\cdot\text{мм}^2/\text{Вт}$ при прижимном усилии 1379 кПа.



Прокладки, изготовленные из силиконовой резины и стекловолокна, термостабильны и неогнеопасны. Они не являются токсичными, не требуют применения теплопроводящей пасты (смазки) и не приводят к растрескиванию керамических материалов. Прокладки временно реагируют на некоторые чистящие вещества (хлорированные углеводороды) разбуханием и разрушаются после удаления раствора.

Прокладки стойки к температурам, используемым в процессе пайки, и срок годности не ограничен. Теплопроводящие прокладки не имеют липкой поверхности и долго остаются стабильными (при условии правильного хранения).

Перечень установленных материалов NASA, допустимых для применения в космических условиях, основан на низком выделении газов при вакуумно-тепловом воздействии и содержании летучих конденсирующихся веществ. Для изготовления прокладок TMP-1XX применяется соответствующий материал семейства SIL-PAD 2000 компании Henkel/Berquist. Для изготовления прокладок серии TMP-0XX используется материал SIL-PAD-1500, не включённый в перечень NASA в качестве допустимого для применения в космосе.

www.prosoft.ru

Графический 2,23-дюймовый OLED-дисплей с ёмкостным сенсорным экраном

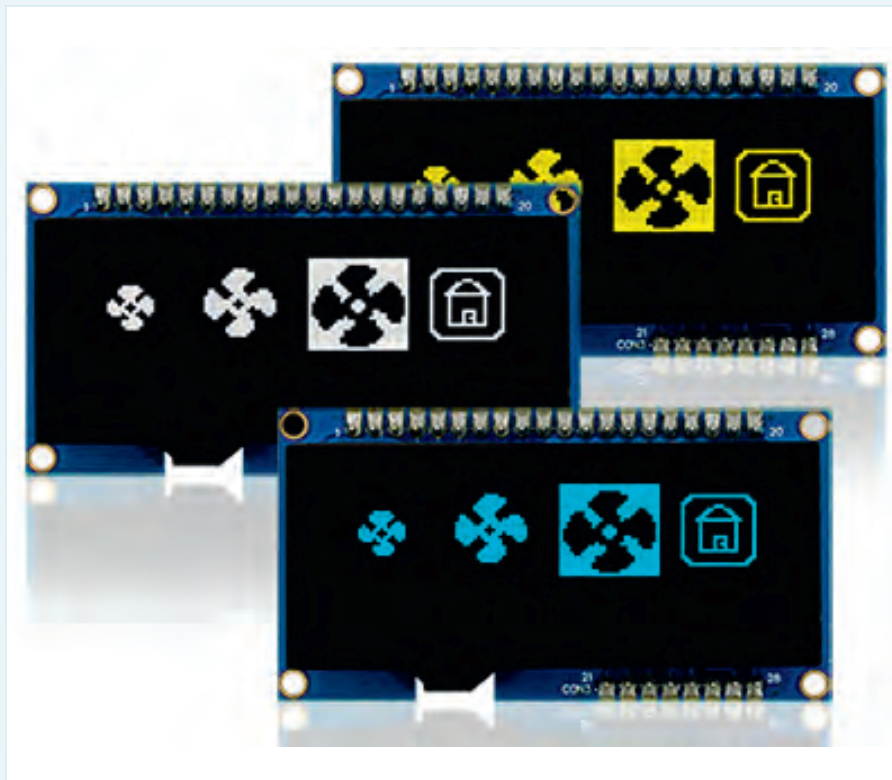
Компания Raystar Optronics, Inc. предлагает графический OLED-дисплей REP012832A-CTP с сенсорным экраном и печатной платой. Глянцевый сенсорный экран поддерживает детектирование одной точки касания. Существует два способа монтажа этого дисплейного модуля: с использованием штырьковой монтажной колодки и фиксация с применением отверстий для винтов. Кроме того, предлагается три способа соединения интерфейсов: штыревое соединение, гибкая подводка (требуется дополнительный разъём) и пайка.

В качестве дополнительного оборудования предоставляются небольшой электромотор и звуковой сигнализатор. Этот 2,23-дюймовый графический дисплейный модуль OLED является хорошим выбором для применений в оборудовании типа «умный дом», интеллектуальных системах управления, медицинском оборудовании и др.

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

Основные характеристики:

- размер экрана по диагонали: 2,23 дюйма;
- формат дисплея: 128×32 пикселей;
- габаритные размеры: 66,5×35×10,55 мм;
- видимая область экрана: 55,018×13,098 мм;
- размер пикселя: 0,408×0,388 мм;



- шаг пикселя: 0,43×0,41 мм;
- способ управления: пассивно-матричная адресация;
- коэффициент мультиплексирования строк: 1/32;
- цвет свечения экрана: белый;
- коэффициент мультиплексирования строк: 1/32;

- интерфейс: 6800, 8080, 4-проводной SPI, I²C;
- микросхема драйвера: SSD1305;
- микросхема контроллера сенсорного экрана: FT6336U;
- управление сенсорным экраном через интерфейс I²C;
- антибликовая поверхность экрана.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ICAPE Group внедряет цифровые решения для прямых трансляций, аудита и экскурсий по заводам

Пандемия Covid-19 всё ещё активно распространяется в мире, путешествия затруднены и даже невозможны. Поэтому ICAPE Group внедрила цифровые решения для проведения аудитов и экскурсий по заводам.



ICAPE Group предлагает виртуально посещать фабрики — отличное решение для проведения аудита! Нынешняя обстановка требует современных решений. Экономьте время, сократите до минимума углерод-

ные выбросы и воспользуйтесь преимуществами удалённого аудита. В прямом эфире можно будет задавать вопросы команде экспертов IPC и ISO, общаться напрямую с заводами.

Экскурсии по заводам в прямом эфире

Хотите посетить один из заводов-партнёров ICAPE Group, но путешествовать по всему миру сейчас кажется не самой лучшей идеей? Не волнуйтесь, есть решение! 250 сотрудников ICAPE из Азии смогут организовать виртуальный тур по любой фабрике в любое время, в прямом эфире, прямо из вашего офиса. Чтобы обеспечить лучшее качество обзора, компания ICAPE Group инвестировала в высокотехнологичные камеры. Этот виртуальный тур проводится с помощью программного обеспечения Teams, подключение может быть из любой точки мира. Виртуальный тур носит интерактивный характер и может записываться на компьютер для проведения дальнейшего анализа. Свяжитесь с нами и отправляйтесь в виртуальную экскурсию по заводам ICAPE Group!

Виртуальный павильон (стенд)

ICAPE Group очень активно участвует в выставках. Каждый год группа компаний посещает более 50 выставок по всему миру. В связи с тем, что нынешняя ситуация не позволяет проводить такого вида встречи, ICAPE Group решила предоставить своим клиентам гигантский интерактивный виртуальный стенд. Из собственного офиса клиенты смогут встретиться с командой специалистов ICAPE в 3D-формате. Также клиентам будет предоставлен доступ к многочисленным материалам, таким как видео, живая беседа, технические презентации и, конечно же, информации о технологиях печатных плат и технических деталях. Следите за социальными сетями и официальным сайтом ICAPE Group для получения дополнительной информации, а также бронируйте экскурсию на виртуальный стенд!

Обратитесь к своему представителю для получения дополнительной информации о виртуальных решениях или напишите по адресу order@icaperussia.com

Модульность в технологиях производства: как далеко вы хотите зайти в миниатюризации?

Якоб Дюк (Jakob.Dueck@HARTING.com)

Производители оборудования и промышленных систем, последовательно применяющие модульный принцип производства, зачастую достигают особенно заметных успехов. В данной статье приведены выводы, сделанные на основе практического опыта заказчиков компании HARTING Technology Group в сфере машиностроения. В тексте рассказывается о том, как максимально повысить эффективность внедрения модульного принципа производства. Ключевую роль в этих концепциях играют соединители.

Модульный принцип легче всего объяснить на примере элементов конструктора LEGO. Из базовых блоков и определённых соединительных элементов можно создавать бесчисленное множество предметов. Именно такой подход внедрён в отраслях производства продуктов, обладающих гораздо большей сложностью и разнообразием.

Типовым примером может служить платформенный принцип, применяемый в автомобилестроении, в соответствии с которым не только двигатели, коробки передач и ведущие мосты, но и шасси в целом рассматриваются в качестве масштабируемых модулей для автомобилей разных моделей, типов и марок. Кроме того, в сфере промышленного управления и технологий приводов такие системы, как ПЛК, IPC, ЧМИ,

и компоненты приводов можно адаптировать под индивидуальные требования на базе отдельных «сегментов» или нескольких удалённых блоков ввода/вывода и реализовывать автоматизацию станков или агрегатов. Можно масштабировать их или вносить изменения в компоновку для будущих применений, не прилагая значительных усилий.

Модульное исполнение сложных продуктов промышленного производства зачастую имеет успех как с технической, так и с экономической точки зрения при условии, что такие продукты производятся тысячами (при изготовлении промышленных устройств управления) или даже миллионами (в автомобилестроении). Но оправдано ли применение модульного прин-

ципа, если в год выпускается в лучшем случае несколько сотен единиц оборудования?

Ответ – да. В настоящее время в машиностроении нет альтернатив модульному принципу. В заявлении Союза машиностроителей Германии (VDMA) говорится: «Целью стандартизации и внедрения модульного принципа является продукция с меньшей степенью вариативности и сложности, а также с более низкой себестоимостью. При этом исключается вероятность сужения сортамента продукции и уменьшения её разнообразия» [1].

Для лучшего понимания смысла этого заявления далее будет представлено несколько примеров типовых запросов и требований, которые предъявляются на рынке промышленных систем.

Учитывается высокая степень вариативности систем производства, что позволяет производить более широкий ассортимент продукции в малых или средних объёмах (ключевые термины – «промышленное производство отдельных продуктов» и «Индустрия 4.0»). Для обеспечения такой возможности системы должны быть масштабируемыми и должны предусматривать последовательное расширение с точки зрения мощностей и выработки. Раньше основное внимание было сосредоточено на фактической производительности, сегодня заказчики в области машиностроения уделяют больше внимания вариативности и масштабируемости. Иными словами, речь идёт не о системах «высокой сложности» для производства компонентов, пользующихся спросом, в больших объёмах, а о системах, при помощи которых обеспечивается возможность гибкого производства различных продуктов в малых и средних объёмах [2].

Конкуренция в сфере машиностроения вынуждает разработчиков промышленных систем расширять бизнес-модели. В современном корпоративном сегменте рынка недостаточно просто разрабатывать качественную продукцию, продавать её потребителям, а затем ждать заказов



Станок с дополнительными модулями, являющимися частью производственной линии



на сервисное и техническое обслуживание. Модели совокупной стоимости владения (ТСО), часто применявшиеся в прошлом при оценке прибыльности инвестиций, всё чаще дополняются моделями LCC (из-за затрат на срок службы). Это позволяет с высокой степенью прозрачности предлагать новые бизнес-концепции (например, планово-предупредительный ремонт), в том числе в отношении технического и сервисного обслуживания, а также дооборудования. Производителям оборудования легче убедить потребителей в том, что увеличенный объём обслуживания, связанный со сроком службы, обладает большими преимуществами [3]. Растущий спрос на обслуживание по абонементной модели («Оплата по мере использования», «Ежемесячная оплата», «Плата за единицу оборудования» и т.д.) подтверждает общую глобальную тенденцию. С точки зрения производителей, также имеет смысл обратиться к ориентированным на прибыль и сервисно-ориентированным моделям. В то время как средняя маржинальность в сфере производства нового оборудования в 2018 году составила 5,4%, аналогичная маржинальность в сфере сервисного обслуживания превысила 40% [4]. Более того, спрос на сервисное обслуживание в гораздо меньшей степени зависит от экономических циклов в сравнении со спросом на оборудование.

Особенно это касается дорогостоящего капитального оборудования. Заказчикам зачастую выгоднее расширять действующее оборудование, модернизировать отдельные блоки или подсистемы, чем вкладывать средства в совершенно новое оборудование.

В некоторых клиентских сегментах отрасли машиностроения распространено мнение о том, что модули и подсистемы разных производителей можно сочетать в рамках единого производственного агрегата без приложения дополнительных усилий: дополнительных расходов, технических и экономических потерь.

Эффективное с технической и экономической точки зрения удовлетворение требований возможно только при условии последовательного внедрения модульного принципа в производственных системах и их интеграции в сеть передачи данных, что позволит предлагать их в качестве интеллектуальных систем на разных этапах масштабирования. Агентство ID-Consulting из города Мюнхена в недавнем исследовании [5] подтвердило, что внедрение модульных принципов производства представляет в значительной степени успешную стратегию. Внедрение модульного принципа производства ведёт к коммерческому успеху.

Производители, взвешивая плюсы и минусы модульных принципов, в первую очередь должны положительно ответить на следующие вопросы:

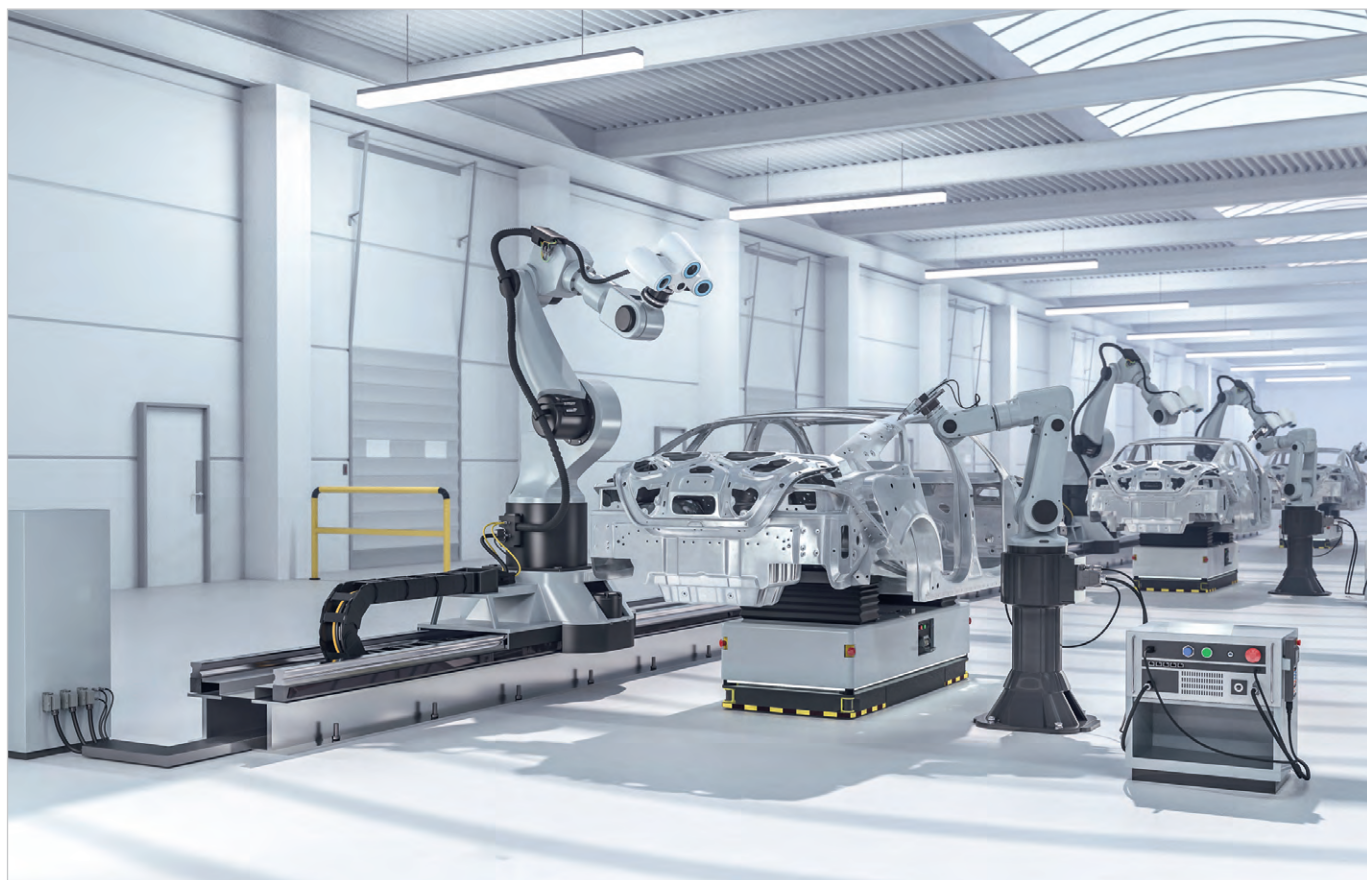
- максимальный общий объём вложений и расходов на новую группу или семейство продуктов с модульной архитектурой позволяет без потери рентабельности разворачивать производство продуктов в стандартные для отрасли сроки в условиях наиболее неблагоприятной экономической обстановки;
- технические сложности, связанные с планируемым разделением станка или агрегата на отдельные модули с переходными элементами и соеди-

нителями, должны быть признаны оправданными всеми участниками технологического процесса (в части, касающейся механических и электрических систем, а также техники безопасности);

- все рабочие функции, связанные с будущими процессами (разработкой и проектированием, проектным планированием и продажами, производством и сборкой, составлением документации, сервисным и пост-продажным сервисным обслуживанием, цепочкой поставки и маркетинговой коммуникацией), должны быть подготовлены и адаптированы к внедрению модульной архитектуры оборудования, которое может осуществляться как на объекте производителя, так и на предприятии заказчика.

До какой степени станок или агрегат следует разделять на модули, каким общим принципом следует руководствоваться? Гениальность конструктора LEGO заключается не в блоках, а в соединениях между ними. Они определяют возможный уровень модульности, но также представляют собой фактор, в определённой степени ограничивающий возможности соединения блоков. То же применимо и в отношении соединителей для соединения отдельных модулей станка или системы.

Соединители обеспечивают согласованное и рациональное соединение между модулями. В то же время они гарантируют бесперебойную исправную работу промышленной системы, отдельных компактных единиц оборудования, а также производственной линии в целом. Следовательно, ключевым вопросом при внедрении модуль-



ного принципа является вопрос о том, как разделить компоненты цельной системы.

Что касается разграничения электрических и электромеханических соединений, соединений для передачи электропитания, сигналов и данных, а также соединений для обмена данными, компания HARTING рекомендует придерживаться следующего принципа.

В первую очередь исходную базовую систему следует проанализировать с точки зрения выполняемых функций: ключевые функции, которые отражают основную сферу деятельности производителя; базовые функции (например, системы передачи данных), которые охватывают всю систему в целом; также дополнительные или вспомогательные функции, соответствующие общему уровню технологий и представляющие для производителя второстепенную важность. Всегда полезно иметь определённый запас прочности по характеристикам модулей оборудования, которые выполняют ключевые функции.

Следовательно, функции следует объединять по модулям, но только с той степенью модульности, которая необходима. Нужно учитывать все аспекты возможных эффектов оптимизации и вариативность оборудования как со

стороны производителя, так и со стороны пользователя. Кроме того, важно включать в объём сервисного обслуживания как можно больше этапов срока службы оборудования и/или учитывать особенности требований заказчика, обусловленные страной местонахождения.

Для всех элементов оборудования (датчиков, исполнительных устройств, ЧМИ, приводов и т.д.), которые уже невозможно делить и для которых требуется передача электропитания, сигналов или данных:

- необходимо проанализировать и желательно отобразить в графическом виде функциональную востребованность нового модуля оборудования;
- определить для модуля соответствующий уровень с точки зрения «типовой» пирамиды автоматизации;
- определить перечень всех необходимых соединителей для соединения отдельных элементов соответствующих модулей оборудования.

В результате получается изображение всех модулей будущей системы в матричном виде. Кроме того, обеспечивается наглядное отображение иерархической структуры элементов и связанных с ними соединителей, в том числе связи элементов с одним

или несколькими модулями оборудования.

Такой подход позволяет проанализировать оправданность, риски с технической точки зрения и необходимые варианты исполнения соединителей. Кроме того, благодаря оценке важности модулей для будущей системы, обеспечивается прозрачность. На основании перечня можно определить все задействованные элементы, выработать дальнейшие шаги и спецификации для разработки модулей и технологических процессов.

Кроме того, матричный вид помогает определить степень централизации или децентрализации системы управления модульным станком или агрегатом. Наблюдения специалистов HARTING показывают, что:

- системы с высокой степенью вариативности оборудования в своих ключевых функциях и с большим занимаемым пространством обычно оборудуются децентрализованными системами ввода и вывода;
- комбинированная архитектура применяется в системах меньшего размера с высокой вариативностью: в таких системах управление ключевыми и базовыми функциями осуществляется централизованно; управление дополнительными функциями осу-

ществляется либо централизованно (простые функции), либо децентрализованно (посредством сложных интерфейсов) – в зависимости от сложности;

- для систем меньшего размера и/или простых систем с низкой вариативностью с технической точки зрения более простым и экономически выгодным решением является полностью централизованное управление.

При выборе архитектуры необходимо принять во внимание то, что централизованные системы в целом требуют меньших затрат на компоненты и материалы. Однако в то же время увеличиваются затраты и объём ресурсов, необходимых для производства и монтажа системы на предприятии заказчика. Временные и финансовые затраты на дооборудование и модернизацию также могут увеличиваться. То же применимо к сервисному и техническому обслуживанию.

Положительным аспектом, с точки зрения производителя и заказчика, является то, что все современные системы управления, приводов и ЧМИ обеспечивают полное отделение физического уровня от логических уровней. Это относится как к системам с высокоскоростными и точными последовательностями, так и к высокочувствительным системам безопасности или взаимосвязанным системам. Практически полная свобода, которую обеспечивает модульность производственных систем, обусловлена в первую очередь соединениями. Компания HARTING Technology Group предлагает решения и продукты для всех видов соединений для передачи электропитания, сигналов и данных, которые:

- а. всегда можно спроектировать с соблюдением обязательных требований (характеристик электрических и ЭМС) к линиям передачи и с экономией затрат;
- б. можно последовательно масштабировать с точки зрения технических характеристик, а также размеров и количества в каждом модуле оборудования;
- в. отвечают различным требованиям относительно расположения контактов, сборки, класса защиты, соответствующих материалов и могут обеспечивать сочетание разных сред передачи, например оптических сигналов и сжатого воздуха.

Вывод

Последовательное внедрение модульных принципов из расчёта оптимизации расходов и процессов сервисного обслуживания на протяжении всего срока службы (модель LCC) позволяет предприятиям производить оборудование в соответствии с принципом модульного исполнения и таким образом значительно снижать финансовые и временные затраты. В то же время эта стратегия позволяет увеличить количество возможных вариантов конфигурации. Пользователям модульный принцип также предоставляет преимущества. Пользователи получают спроектированное с использованием прозрачных процедур оборудование, оптимизированное с точки зрения финансовых затрат и технических требований.

Компания HARTING предлагает решения для всех соединений, необходимых в современных технологиях управления, приводов, ЧМИ и обмена данными

для промышленных систем, что позволяет без ограничений внедрять модульную архитектуру оборудования. HARTING уже много лет демонстрирует это на практике на заводах своей дочерней машиностроительной компании HARTING Applied Technologies (в частности, на испытательной установке HAI4YOU), а также на интеллектуальном предприятии HARTING Smart Factory, на котором используются инновационные технологии создания цифровых двойников и искусственного интеллекта. Реализацию этих возможностей обеспечивают базовые параметрические функции анализа, визуализация выбранных параметров оборудования и безопасный внешний доступ к оборудованию.

Литература

1. Перспективы немецкого машиностроения. 2014. URL: <https://www.vdma.org/zukunftsperspektive>.
2. Бергер Р. Системы производства 2020 года. 2011. URL: <https://files.vogel.de/vogelonline/vogelonline/files/3614.pdf>
3. Бодэ М., Бюнтинг Ф., Гайсдёрфер К. Расчёт затрат за срок службы. VDMA publishing house.
4. Отраслевой доклад «Машиностроение в Германии». 2019. URL: https://www.firmenkunden.commerzbank.de/portal/media/corporatebanking/neu-hauptportal-rebrush/aktuelles/branchen-und-maerkte/branchenberichte-1/Maschinenbau_Kurzversion.pdf.
5. Исследование модульных принципов производства 2018–2019 гг. URL: https://www.id-consult.com/fileadmin/Inhalt/02_Themen/024_Whitepaper/024_Fachartikel/Modularisierungsstudie_2018-2019.pdf.



НОВОСТИ МИРА

СОПЕРНИЧЕСТВО С TSMC ВЫНУДИЛО SAMSUNG ИНВЕСТИРОВАТЬ В ПРОИЗВОДСТВО ЧИПОВ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ \$116 МЛРД

Согласно свежим данным, Samsung подготовила долгосрочный инвестиционный план в рамках которого собирается вложить \$116 миллиардов в производство чипов, чтобы превзойти TSMC. Bloomberg сообщает, что компания планирует наладить массовое производство 3-нм чипов к 2022 году.

Пак Джэ Хон (Park Jae-Hong), исполнительный вице-президент Samsung по литографии, говорит, что компания уже разра-

батывает инструменты для производства 3-нм чипов совместно со своими партнёрами. TSMC тоже планирует начать производство 3-нм продукции в 2022 году, так что конкуренция между компаниями будет напряжённой. Тем не менее Samsung собирается превзойти TSMC, раньше внедрив технологию GAA (Gate-All-Around), которая позволит ещё сильнее снизить энергопотребление чипов.

Несмотря на успешный бизнес по производству микросхем памяти и дисплеев, в производстве логических чипов Samsung заметно отстает от TSMC. Сообщается, что в прошлом году она получила только 18 про-

центов заказов на производство чипов, тогда как TSMC принадлежало более половины всего рынка. Чтобы изменить это положение, корейская компания планирует инвестировать \$26 миллиардов в производство чипов в этом году, в то время как TSMC вложит только \$17 миллиардов.

Стоит заметить, что Samsung, как и TSMC, создала производственные мощности для изготовления чипов по технологии EUV. Это может быть связано в том числе и с тем, что Intel недавно объявила о планах по передаче производства некоторых чипов на аутсорсинг.

<https://russianelectronics.ru>

Тонкоплёночные электролюминесцентные структуры против электролюминесцентной подсветки и светодиодов

Виктор Жданкин (Москва)

Несмотря на то что тонкоплёночные электролюминесцентные структуры, разработанные и созданные компанией **Benepq**, электролюминесцентные подсветки для жидкокристаллических дисплеев, неорганические светодиоды и органические светоизлучающие диоды являются электролюминесцентными материалами, их свойства весьма различны. В статье представлено общее понимание того, чем эти электролюминесцентные (светоизлучающие) устройства различаются.

Введение

Электролюминесценция (механизм излучения) характеризует явление, которое происходит при возбуждении материала подачей напряжения. Впоследствии материал излучает свет: происходит преобразование электрической энергии в свет (см. рис. 1).

Тонкоплёночные электролюминесцентные структуры (Thin Film Electroluminescent – TFEL), созданные компанией **Benepq**, электролюминесцентная подсветка для жидкокристаллических дисплеев (ЖКД), неорганические светодиоды (Light Emitting Diodes) и органические светоизлучающие диоды (Organic Light Emitting Diodes – OLED) по своей природе являются электролюминесцентными материалами. Однако их свойства весьма различны, и каждая из технологий применяется в определённых приложениях.

Многообразие форм материалов для производства электролюминесцентных дисплеев схематично представлено на рисунке 2.

Сравнение неорганических электролюминесцентных (EL) материалов с диодами

Неорганическая электролюминесценция может иметь двунаправленный путь протекания тока от генератора переменного тока, в то время как диоды имеют однонаправленное протекание тока. Кроме того, все коммерчески доступные электролюминесцентные (EL) дисплеи используют фосфоры из неорганических материалов, тогда как светоизлучающие диоды могут быть изготовлены из органических или неорганических материалов. Технологии различаются процессом изго-

товления, потребительскими свойствами и сегментами применения. Термин «органический» используется для обозначения материалов, в значительной степени основанных на углероде, и не должен ассоциироваться с продуктами питания, имеющими маркировку «органическое происхождение».

Сравнение электролюминесценции при управлении переменным током с электролюминесценцией при управлении токовыми сигналами постоянного тока

Различие между двумя методами электролюминесценции становится

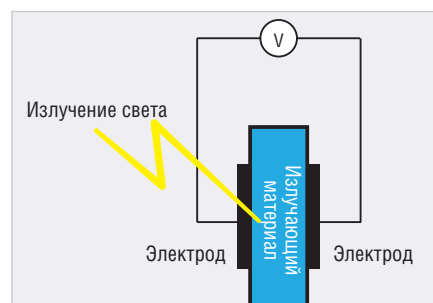


Рис. 1. Упрощённое представление механизма излучения (электролюминесценция)

очевидным из типа управления пикселями: током переменным или постоянным. Дисплеи с управлением переменным током используют напряжение переменной полярности, чтобы создать излучение света из фосфорного слоя, обычно включающего сульфид цинка (ZnS) с добавками небольшого количества ионов марганца (ZnS:Mn). Дисплеи с управлением пикселями постоянным током используют импульсный ток для создания излучения света из фосфорного слоя, содержащего ZnS. Управление электролюминесценцией с помощью сигналов переменного тока (AC EL) широко используется в адресуемых матричных дисплеях производства компании **Benepq** (торговая марка **Lumineq**) и некоторых других компаний. Ограниченный успех технологии управления электролюминесценцией постоянным током (DC EL) обусловлен проблемами с надёжностью и в 2 раза более коротким жизненным циклом по сравнению с изделиями с управлением сигналами переменного тока. Несмотря на значительное развитие в прошлом, сейчас продукция с управлением постоянным током не находит рынков сбыта, поэтому не будет более рассматриваться в этой статье.

Сопоставление тонкоплёночной электролюминесцентной структуры (TFEL) с порошковой электролюминесценцией

Как указывалось ранее, устройства с управлением электролюминесценцией переменным напряжением обычно используют фосфоры на основе суль-

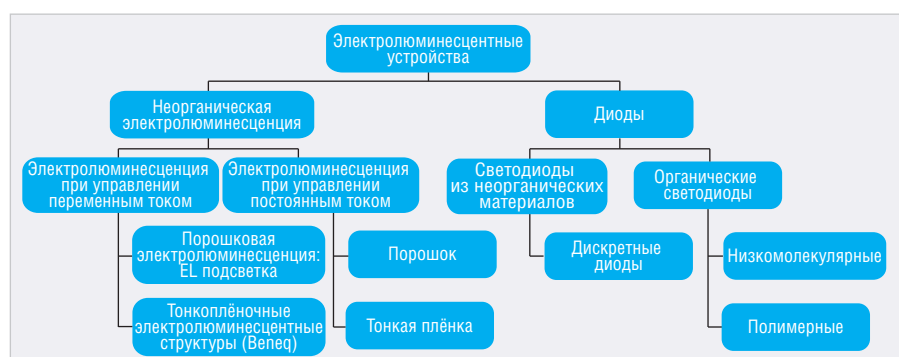


Рис. 2. Виды материалов для электролюминесцентных (светоизлучающих) дисплеев

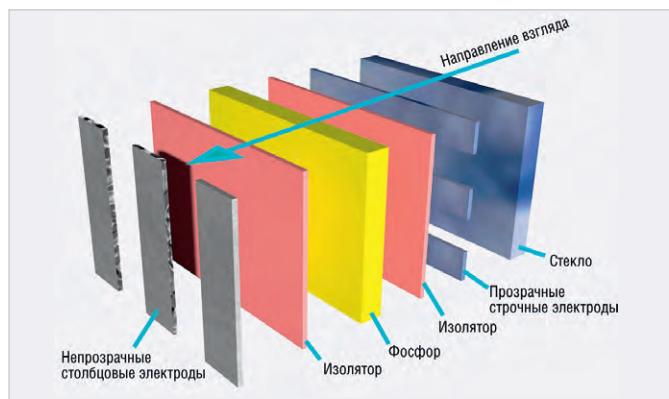


Рис. 3. Структура TFEL – дисплея с управлением переменным током

фида цинка (ZnS). В TFEL-структуре фосфорный слой толщиной 0,5 мкм изолирован между двумя диэлектрическими токоограничивающими слоями толщиной 0,3 мкм, которые ограничивают максимальный ток заряда и разряда ёмкостей и защищают фосфор от замыкания с электродами при воздействии сильного электрического поля. В целом тонкоплёночная структура имеет толщину примерно 1 мкм, требуя большой точности в процессах осаждения. Для справки: толщина бумаги в обычной записной книжке – около 100 мкм. Размещение тонкоплёночной структуры между ортогональной системой электродов показано на рисунке 3. По крайней мере один из представленных на рисунке электродов должен быть прозрачным для того, чтобы можно было наблюдать излучение. Как только управляющее напряжение (± 200 В, переменное) прикладывается к пересечению ортогональных электродов, формирующих пиксель, высокоэнергичные электроны инжектируются в фосфор, приводя к свечению фосфора между пересекающимися электродами. Свет проходит через прозрачный электрод по направлению к наблюдателю. Более подробно структура тонкоплёночных электролюминесцентных дисплеев и их основные параметры рассмотрены в работах [4, 5].

Прозрачные дисплеи, выпускаемые компанией Benepq под торговой маркой Lumineq, имеют два прозрачных слоя на обеих сторонах тонкоплёночной структуры. В настоящее время прозрачные дисплеи (Transparent Thin Film Electroluminescent – TASEL) широко используются для интегрирования в элементы остекления, иллюминаторы пассажирских самолётов, боковые стёкла автомобилей системы каршеринга и для других применений, когда информацию на экране необходимо

воспринимать одновременно с предметом внимания, находящимся в поле зрения за дисплеем. Отсутствие необходимости подогрева дисплеев TASEL при низких температурах способствует разработке новых информационных решений для жёстких условий эксплуатации. Подробные сведения о конструкции и применениях прозрачных электролюминесцентных дисплеев даны в работе специалистов компании Benepq [1]. О возможности создания триплекса с интегрированным прозрачным дисплеем для применений в авиационной, космической, глубоководной и специальной технике рассказано в работе [6].

Обычные электролюминесцентные дисплеи имеют один прозрачный слой и один (обычно чёрный) задний электродный слой, который создаёт повышенную контрастность. Применение технологии интегрального расширения контраста (Integral Contrast Enhancement – ICE) позволяет повысить собственный контраст изображения за счёт уменьшения бокового рассеяния от светящегося пикселя посредством формирования дополнительной маски в слое люминофора, которая блокирует проникновение света в соседние пиксели. Применение светопоглощающего слоя на внутренней поверхности строчных электродов позволяет уменьшить паразитное боковое рассеяние. Собственный контраст TFEL-дисплеев достигает уровня 1:1000, что позволяет считывать изображение при яркой внешней засветке и относительно невысокой яркости.

Так как человеческий глаз способен обнаруживать в яркости в светящихся пикселях менее 2...5%, пиксели дисплея должны излучать свет равномерно. Процессы осаждения тонкой плёнки являются чрезвычайно точными и создают хорошо упакованные, равномерные слои фосфора и диэлектрика. TFEL-дисплеи имеют высокую равномерность и ста-

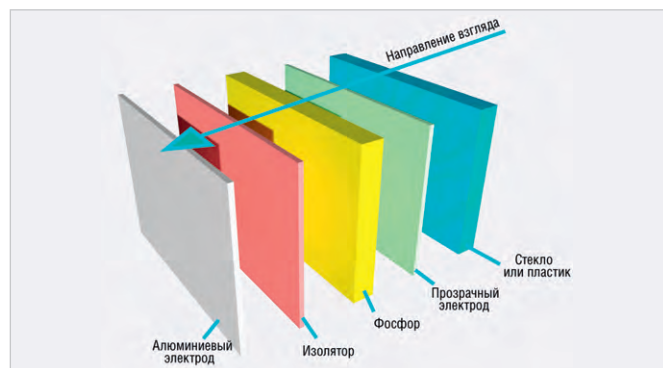


Рис. 4. Система подсветки на порошковой электролюминесцентной структуре переменного тока

бильность яркости, а также отличаются длительным сроком службы (до достижения уровня половинной яркости от первоначального значения пройдёт как минимум 100 000 ч). В статье [7] детально рассматриваются основы нанесения тонких плёнок по нанотехнологиям атомно-слоевого осаждения, дан обзор оборудования, выпускаемого компанией Benepq, приведены практические примеры применения этой технологии.

В отличие от технологии, применяемой при производстве TFEL-дисплеев, порошковые электролюминесцентные структуры изготавливаются с применением простых технологий осаждения, таких как шёлкотрафаретная печать. Фосфорный порошок смешивается с жидким реагентом для формирования геля. Гель наносится на подложку и застывает в виде 50–100 мкм тонкой плёнки. Слой фосфора изолируется, добавляются два электрода, один из которых должен быть прозрачным (см. рис. 4). Когда прикладывается напряжение, фосфор излучает свет через прозрачный электрод точно так, как это происходит у TFEL-структур. Технология осаждения, по точности сопоставимая с требуемой для применений TFEL, недорога. Однако несмотря на обширный объём разработок, порошковая электролюминесценция переменного тока не проверена для применения в производстве дисплеев с высоким содержанием информации из-за более низкой надёжности фосфорных материалов и структуры устройства по сравнению с TFEL.

Человеческий глаз значительно менее точен при определении ухудшения яркости в точечных источниках света. Это делает порошковую электролюминесцентную технологию приемлемой для производства на её основе ночных светильников, встраиваемых в штепсельные вилки, сигнальных автомобильных ламп, освещения театральных сцен и систем

задней подсветки небольших жидкокристаллических дисплеев, подобных тем, которые используются в наручных часах. Порошковые электролюминесцентные структуры, подобно TFEL-структурам, как правило, используют фосфоры на основе сульфида цинка (ZnS). Однако порошковые электролюминесцентные структуры обычно добавляются, чтобы создать цвета, которые ассоциируются с электролюминесцентной подсветкой (голубой, зелёный и красный).

Сопоставление светоизлучающих диодов из неорганических материалов с органическими светоизлучающими диодами

Светоизлучающие диоды, изготавливаемые из неорганических материалов, таких как индий, алюминий, галлий, мышьяк и/или азот, коммерчески доступны с 60-х годов. За последние несколько десятилетий достигнут такой уровень эффективности, что светоизлучающие диоды конкурируют с лампами накаливания и даже с люминесцентными источниками света. Все устройства на основе светодиодов из неорганических материалов производятся точным осаждением пленочного пакета светодиодного устройства на специально подготовленные пластины. Процесс производства является обычным в полупроводниковой промышленности. После того как пакет осаждён, пластина режется на кристаллы, как правило, со стороной примерно 1 мм или меньше, затем осуществляется корпусирование и присоединение оптической системы.

Производство светодиодных пластин из неорганических материалов сегодня масштабно. Ещё недавно изготовление дисплеев на единой подложке являлось проблематичным. Наряду с обычными светодиодами появились мини- и микросветодиоды. Микросветодиоды применяются в средствах отображения информации или дисплеях. Изготовление матрицы светящихся элементов микросветодиодов производится одновременно и на одной подложке. Микродисплейная технология отличается рядом конкурентных преимуществ и может занять значительную нишу на рынке современной электроники [2].

Светодиоды из неорганических материалов в небольших отдельных корпусах широко внедрены для коммерческого применения. Такие диоды используют в качестве источников света, компонентов системы подсветки свертонных

ЖКД. Микросветодиоды представлены в следующих сегментах рынка:

- компьютерные мониторы;
- умные часы;
- дисплеи, закрепляемые на голове;
- смартфоны;
- планшеты;
- телевизоры;
- видеостены.

Продукция со светодиодами, изготовленными из органических материалов, впервые стала коммерчески доступной в 1997 году. Светодиодные дисплеи могут быть отнесены к органическим светоизлучающим (Organic Light Emitting Device – OLED) или органическим электролюминесцентным устройствам. Технология имеет преимущество перед неорганическим аналогом. Матричный дисплей относительно легко изготавливается из материалов на основе органических плёнок. Было разработано два типа устройств на основе органических плёнок: низкомолекулярные и полимерные светоизлучающие устройства, изобретённые компанией Eastman Kodak и Кавендишской лабораторией Кембриджского университета.

Большая часть изделий OLED изготавливаются на основе низкомолекулярных плёнок. Очень интересна сегодня технология полимерных органических светодиодов: она позволяет использовать струйную печать для нанесения органического слоя, это значительно удешевляет и упрощает технологию производства. Органические светоизлучающие устройства, помещённые в корпус, как панели с одним пикселем, находят применение и на потребительском рынке освещения. Успешное массовое внедрение органических светодиодов сдерживается низкой эффективностью, недостаточным сроком службы, сложностью получения светодиодов белого свечения, высокой стоимостью.

Плёночный набор органического или неорганического диода содержит два расположенных рядом полупроводника (n-типа и p-типа) с различным числом свободных электронов. Ток в диоде протекает только в одном направлении, поэтому когда приложено напряжение к материалу n-типа, электроны протекают по направлению к слою p-типа в светоизлучающем диоде – генерируется свет.

Сопоставление тонкоплёночных электролюминесцентных дисплеев с OLED-дисплеями

Первоначально OLED-дисплеи были рекомендованы только для потребитель-

ских применений, таких как сотовые телефоны, автомобильная стереофоническая аппаратура с весьма ограниченными рабочими циклами и небольшими размерами по диагонали. Из-за неравномерного старения не существовало OLED-дисплеев для использования в ноутбуках, PDA или профессиональном измерительном оборудовании, где длительное статическое изображение приводит к паразитному эффекту «прожигания» (burn-in) экрана.

Производители устройств, созданных на основе органических плёнок (OLED), обычно характеризуют световой ресурс как время, в течение которого начальная яркость дисплея/пикселя уменьшается вдвое. Это общепринятый показатель в описании срока службы ламп и других излучателей света, не относящихся к дисплеям, но он имеет несущественное значение для дисплеев с большим объёмом информации.

Как было указано ранее, человеческий глаз может видеть на изображении неравномерность в яркости менее 2...5%. Таким образом, ослабление от 5 до 10% локальной световой отдачи может приводить к появлению весьма заметного паразитного тёмного фона.

Проблема со старением у дисплеев OLED не позволяет их применять в изделиях, дисплеи которых требуют увеличенного срока службы. Кроме того, нагрев ускоряет старение у OLED-дисплеев, содействуя сокращению периода их нормальной эксплуатации. При температурах выше +70°C дисплеи OLED могут катастрофически отказывать. Следовательно, они не могут быть задействованы в применениях, где существует требование эксплуатации при высокой температуре. Компании, занятые разработкой OLED, в настоящее время существенно увеличили срок службы при высоких уровнях яркости и высокой температуре. Некоторые модели OLED-дисплеев с пассивной адресацией сохраняют стабильность параметров при длительном воздействии высокой температуры и влажности: более 950 ч безотказной работы при температуре +55°C и влажности 95%.

Больше убедительных данных имеется относительно живучести TFEL-дисплеев, выпускаемых компанией Benep, особенно по сравнению с OLED-дисплеями. TFEL-дисплеи были внедрены в тысячи военных транспортных средств и другое военное оборудование. OLED-дисплеи долгое время не

были квалифицированы для применения в полевых условиях.

В последние годы благодаря значительным инвестициям был разработан, например, OLED-микродисплей для приборной панели самолётов с диапазоном рабочей температуры от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$. Для специальных применений серийно производятся микродисплеи с активной матрицей на основе органических светодиодов (AMOLED). Основным рынком сбыта активно-матричных дисплеев на основе органических светодиодов (AMOLED-дисплеев) является рынок смартфонов, переносных игровых приставок и телевизоров.

TFEL-дисплеи демонстрируют уменьшение яркости на 85% от первоначальной после 100 000 ч непрерывной работы без заметного различия старения пикселей и могут применяться при температурах выше $+70^{\circ}\text{C}$. Эта технология является одной из коммерчески доступных и наиболее заслуживающих доверия дисплейных технологий. TFEL-дисплеи занимают важную нишу в ряде специальных применений, где по условиям эксплуатации требуется стойкость к крайне низким и высоким температурам.

Заключение

Технология производства дисплеев на основе тонкоплёночных электролюминесцентных структур (TFEL) является испытанной: её стойкость к дифференциальному старению, длительный срок службы без снижения яркости подтверждены 38 годами производства. Она хорошо подходит для ответственного оборудования, требующего отображения графической и алфавитно-цифровой информации, длительного срока службы и надёжности. Это проверенный, с низкой степенью риска выбор для разработчиков высоконадёжного оборудования: военных приложений, сферы общественной безопасности, промышленного оборудования.

За последние годы были созданы малоформатные TFT-модули с расширенным рабочим температурным диапазоном (от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$) [3], но диапазон рабочих температур TFEL-дисплеев от -60 до $+105^{\circ}\text{C}$ без изменения времени электрооптического отклика остаётся непревзойдённым.

Литература

1. Абилах А., Харконен К., Паккала А., Смит Дж. Перевод Жданкина В. К. Прозрачные электролюминесцентные дис-

плеи. Современная электроника. 2008. № 4.

2. Беляев В. Твердотельные и органические микросветодиоды – технологии, рынок, перспективы. Электроника: НТБ. 2018. № 8.

3. Ежов В. TFT-LCD-модули Mitsubishi Electric: передовые технологии для широкого спектра применений. Электроника: НТБ. 2018. № 4.

4. Жданкин В. К. Электролюминесцентные плоскостельные дисплеи. Электронные компоненты. 2003. № 7.

5. Самарин А. Benec (Lumineq) — новый бренд на рынке электролюминесцентных дисплеев. Компоненты и технологии. 2014. № 8.

6. Кочанов Ю., Машир Ю., Солинов В. Исследование возможности создания триплекса с интегрированным прозрачным дисплеем// Компоненты и технологии. 2016. № 5.

7. Майоров Э. Реализация нанотехнологии атомно-слоевого осаждения на оборудовании компании Benec: от лаборатории к промышленности. Компоненты и технологии. 2013. № 10.



LITEMAX

ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

Полосковые дисплеи для транспорта

- ЖК-дисплеи серии SPANPIXEL™ с яркостью до 3000 кд/м²
- Размеры по диагонали от 6,2 до 65"
- Разрешение до 4K2K
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) $-30...+85^{\circ}\text{C}$
- Возможна разработка под заказ
- Ресурс до 100 000 часов

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



Реклама

Расчёт собственного импеданса ферритовых втулок в составе электрических цепей на основе измерений во временной области

Часть 2

Николай Лемешко (nlem83@mail.ru),
 Михаил Горелкин (Mikhail.Gorelkin@rohde-schwarz.com),
 Павел Струнин (Pavel.Strunin@rohde-schwarz.com)

В статье описывается метод расчёта компонент комплексного сопротивления ферритовых втулок, основанный на использовании экспериментальных данных, полученных в результате измерений во временной области. Во второй части работы рассмотрены типовые изменения формы импульсов при их прохождении через ферритовые втулки. Приведены примеры соответствующих расчётов, основанные на результатах измерений, полученных с применением средств измерений компании Rohde&Schwarz.

Типовое изменение формы импульсов при наличии ФВ в измерительной схеме

На основе аппроксимации для марганцево-цинкового феррита, полученной в первой части статьи [17], можно оценить изменение формы тестового импульса в схеме на рисунке 16. Для этого будем рассматривать импульсы прямоугольной и синусоидальной формы со значением $\tau = 10^{-9}$ и 2×10^{-9} нс соответственно ($f_M = 1$ ГГц). Результаты моделирования, полученные с использованием прямого и обратного преобразований Фурье при восьмикратном запасе по полосе частот, представлены на рисунках 6 и 7. Схема измерений принята идеальной, не имеющей паразитных электрофизических характеристик, т.е. $L_2 = 0$.

На рисунках 6 и 7 расчётные осциллограммы сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ показаны пунктирной и непрерывной кривыми, причём сигнал $s_2(t)$ рассчитан по формуле (4). Дополнительно точками показана зависимость $s_1^*(t)$, получен-

ная обратным преобразованием Фурье в полосе частот от $-f_M$ до f_M .

На основе результатов численного исследования можно сделать следующие выводы:

1. для повышения точности расчёта спектральных плотностей $S_1(f)$, $S_2(f)$ по формулам (2) осциллограммы сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ должны весьма точно совмещаться по времени. Если при измерениях не используются вспомогательные средства синхронизации, то достижимая точность совмещения раздельно регистрируемых сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ будет существенно зависеть от запаса измерительной системы по полосе частот: чем он выше, тем лучше;
2. с учётом возможного ограничения полосы тестового импульса измерительной системой, приводящего к появлению ненулевых значений сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ вне значений $|t| \leq \tau$ выборки, для последующей обработки должны регистрироваться

в интервале времени от $-q_1\tau$ до $q_2\tau$, где $q_1, q_2 \geq 1,5$. Значения этих параметров оцениваются по осциллограмме сигнала $s_2(t)$ с учётом возможных отклонений от неоднородности в виде проводной врезки в схеме на рисунке 16. Оценка влияния интервала времени на результаты расчёта $X(f)$ и $R(f)$ приведена в следующем разделе.

3. далее будут рассмотрены примеры измерений зависимостей $X(f)$ и $R(f)$ для образцов ФВ с использованием современных средств измерений, в частности осциллографов.

Примеры измерений зависимостей $X(f)$ и $R(f)$ для образцов ФВ с использованием средств измерений компании Rohde&Schwarz

Объекты исследований, средства измерений и оснастка. Для измерений были выбраны ферритовые втулки марки 74275813 производства Wurth Elektronik (ФВ № 1) и марки ZCAT1518-0730-BK производства TDK (ФВ № 2). Согласно документации [16, 17], они имеют типовые зависимости полного импеданса от частоты, представленные на рисунке 8. Причём типовые значения импеданса для ФВ № 1 на частотах 25 и 100 МГц составляют 120 и 200 Ом, а для № 2 в диапазонах от 10 до 100 МГц и от 100 до 500 МГц – 25 и 50 Ом соответственно. Ориентировочный допуск на значения импеданса составляет $\pm 25\%$.

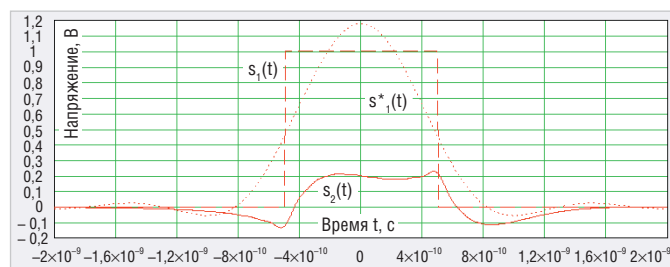


Рис. 6. Результаты моделирования прохождения одиночного прямоугольного импульса через цепь с ФВ с зависимостями $\mu'(f)$ и $\mu''(f)$, представленными на рисунке 5

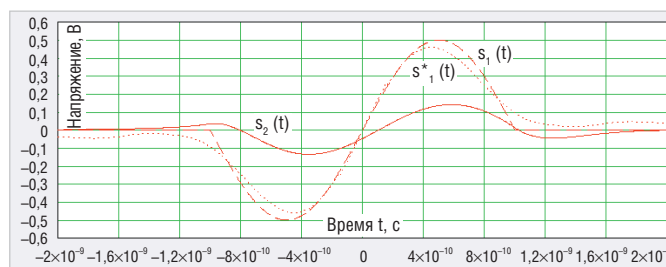


Рис. 7. Результаты моделирования прохождения одиночного импульса синусоидальной формы через цепь с ФВ с зависимостями $\mu'(f)$ и $\mu''(f)$, представленными на рисунке 5

Для апробации предложенного метода определения зависимостей $X(f)$ и $R(f)$ была выбрана полоса идентификации в интервале от 1 до 500 МГц. Последовательность выполнения измерений и расчётов для ФВ № 1 и № 2 включала:

- получение зависимостей $s_1(t)$ и $s_2(t)$ для импульсов длительностью 1 нс в соответствии с изложенными ранее принципами для расчёта функций $X(f)$ и $R(f)$;
- получение зависимостей $s_1(t)$ и $s_2(t)$ для импульсов длительностью 4 нс;
- контрольный расчёт зависимостей $s_1^{**}(t)$ и $s_2^{**}(t)$ по формулам (3) и (4) на основе передаточной функции $K(f)$, включающей найденные зависимости $X(f)$ и $R(f)$, для импульсов длительностью 4 нс.

При получении экспериментальных данных использовались схемы измерений, представленные на рисунке 1. В них использовался осциллограф R&S RTO2044 с полосой рабочих частот до 4 ГГц и четырьмя каналами. Входное сопротивление задействованного канала равнялось 50 Ом. Для формирования импульсов указанной длительности использовался внутренний модулятор векторного генератора сигналов R&S SMW200A с выходным сопротивлением 50 Ом. Период следования импульсов был равен 1 мс для исключения влияния остаточной намагниченности на результаты измерений. Номинальное амплитудное значение составляло 0,5 В при нагрузке 50 Ом, что исключало переход ФВ в насыщение. Специально для проведения экспериментов был изготовлен коаксиальный кабель с проводной врезкой, в отсутствие ФВ скрученной наподобие витой пары в соответствии с приведённым выше описанием. Для установки

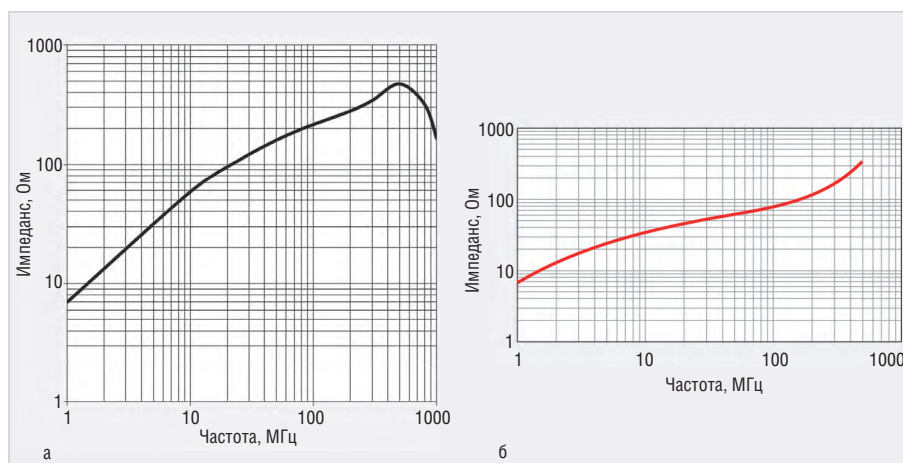


Рис. 8. Зависимости полного импеданса от частоты для ФВ № 1 (а) и для ФВ № 2 (б)



Рис. 9. Фотография измерительной установки (ФВ установлена на проводной врезке)

ФВ на проводной врезке использовался однополюсный разъём. Схема проведения измерений представлена на рисунке 9.

В ходе измерений для реализации последующих расчётов формы в графическом и численном виде регистрировались осциллограммы, полученные усреднением по десяти реализациям, что необходимо для снижения уровня шумов оцифровки. Расчёты осуществлялись на основе полученных выборок в предположении, что вне интер-

валов регистрации сигналы имеют нулевое значение.

Результаты измерений. На рисунке 10 представлены осциллограммы сигнала $s_1(t)$, полученные для импульсов длительностью 1 и 4 нс. Для внутреннего модулятора генератора сигналов R&S SMW200A длительность в 1 нс является минимально достижимой, поэтому импульс имеет форму, близкую к косинусоидальной. Слева от основных импульсов видны выбросы, обусловленные

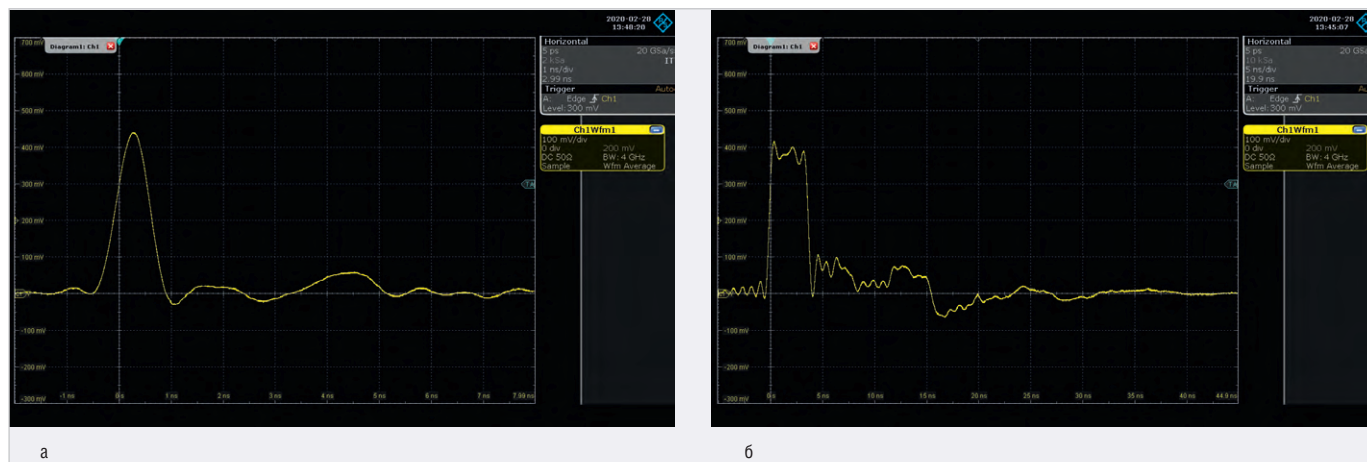


Рис. 10. Осциллограммы, полученные в отсутствие ФВ на кабельной врезке при длительности импульсов 1 нс (а) и 4 нс (б)

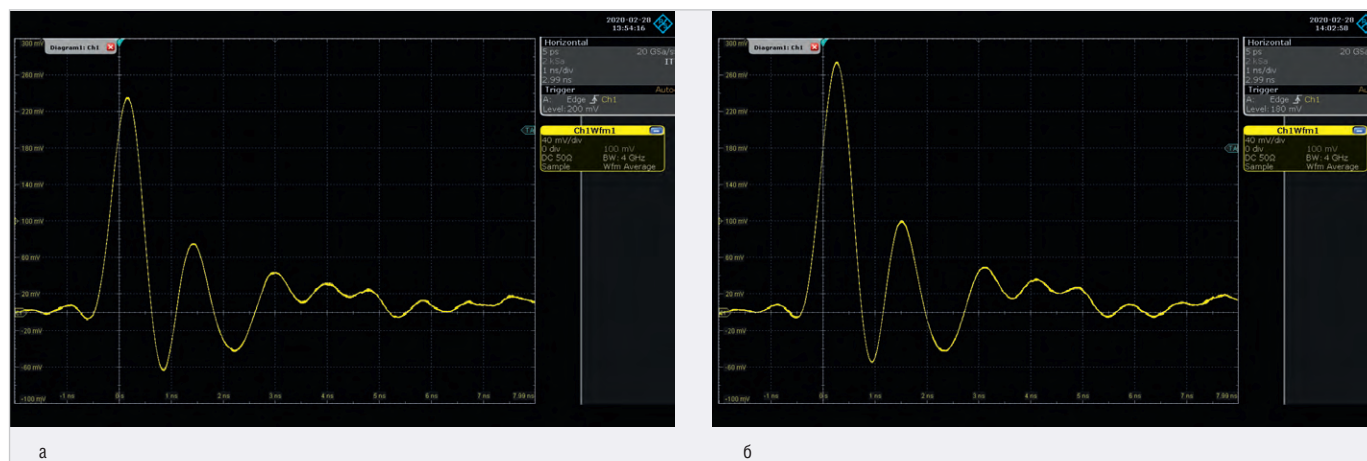


Рис. 11. Осциллограммы, полученные при прохождении импульса длительностью 1 нс через ФВ № 1 (а) и ФВ № 2 (б)

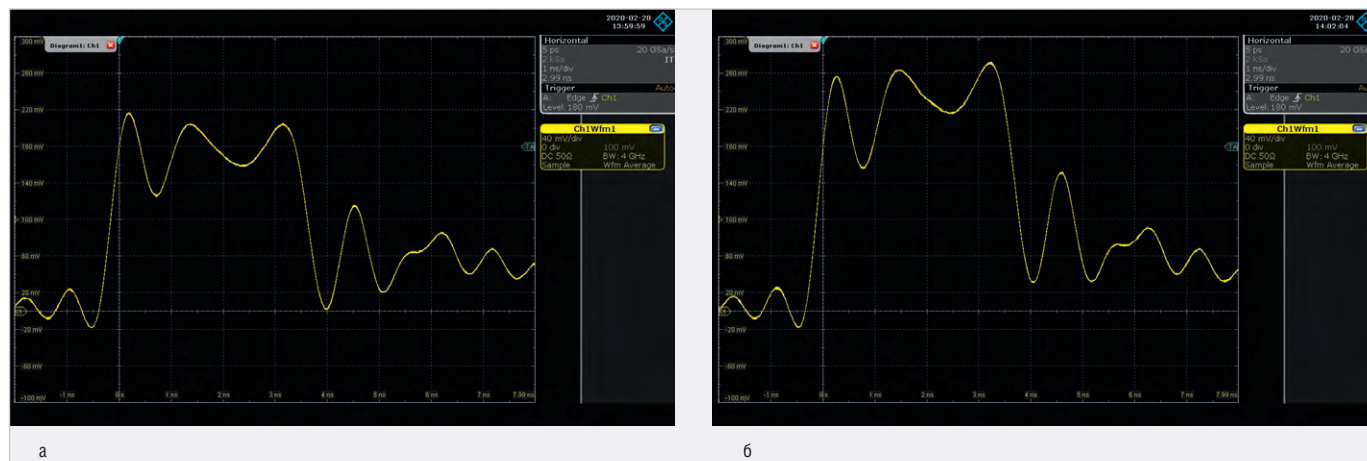


Рис. 12. Осциллограммы, полученные при прохождении импульса длительностью 4 нс через ФВ № 1 (а) и ФВ № 2 (б)

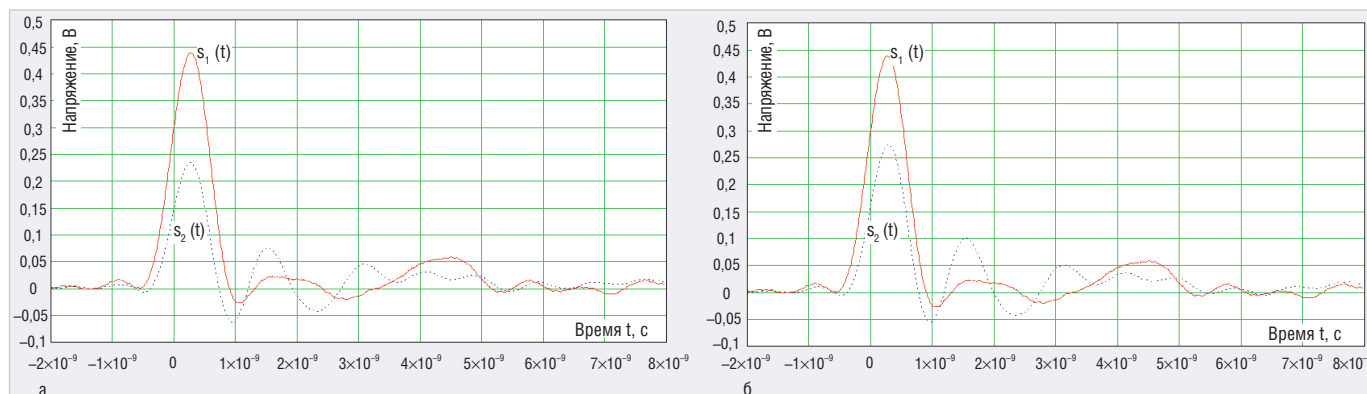


Рис. 13. Графики совмещённых функций $s_1(t)$ и $s_2(t)$ при длительности импульса 1 нс для ФВ № 1 (а) и ФВ № 2 (б)

отражениями из-за наличия проводной вставки, которая всегда имеет большее волновое сопротивление, чем коаксиальная линия [14]. При согласованном соединении цельной коаксиальной линией выбросы будут отсутствовать.

На рисунке 11 показаны осциллограммы, полученные при прохождении импульса длительностью 1 нс через ФВ № 1 и № 2. Для их получения использовался специальный режим синхронизации по фронту, при кото-

ром наличие условия запуска начинает проверяться через 5 нс после выполнения предыдущего условия. При включении в цепь ФВ № 1 и № 2 амплитуда импульса составила 238 и 275 мВ (с исходным значением 440 мВ).

Аналогичные результаты для импульса длительностью 4 нс показаны на рисунке 12. Здесь амплитуда импульсов для ФВ № 1 и № 2 составляет 215 и 270 мВ при исходном значении 420 мВ. Как следует из результатов измерений, ФВ № 1 очень эффективен в части ослабления помех.

Расчёт зависимостей $X(f)$ и $R(f)$ на основе результатов измерений. Выборки, соответствующие графикам на рисунках 10–12, являются исходными данными для расчёта спектральных плотностей в соответствии с (1). Для этого сигналы, соответствующие функциям $s_1(t)$ и $s_2(t)$, должны быть совмещены по времени, например по максимальному значению импульса, как это показано на рисунке 13. Для ФВ № 1 необходимое смещение составило 110 пс, для ФВ № 2 – 30 пс.

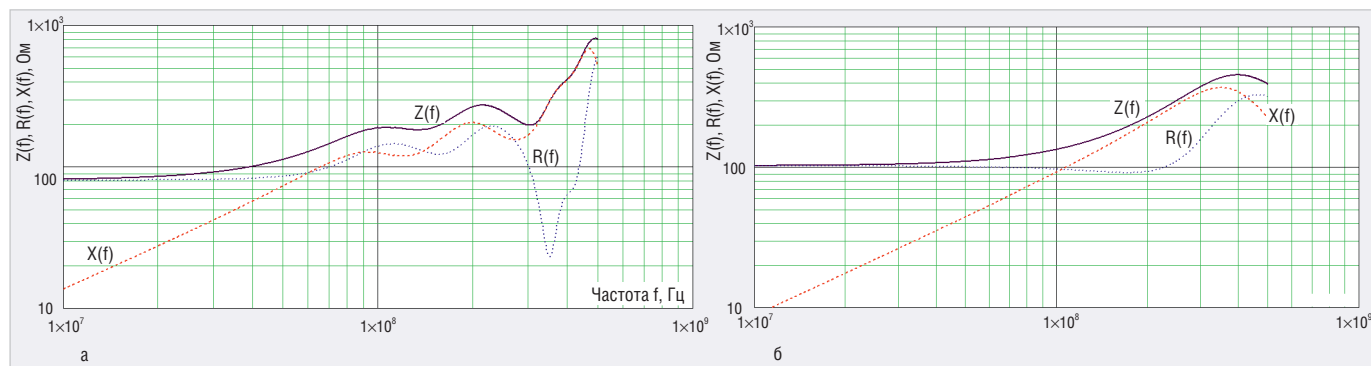


Рис. 14. Кривые $Z(f)$, $R(f)$ и $X(f)$, полученные для ФВ № 1 при расчёте спектральной плотности интегрированием в интервале от -2 до 8 нс (а) и от -2 до 2 нс (б)

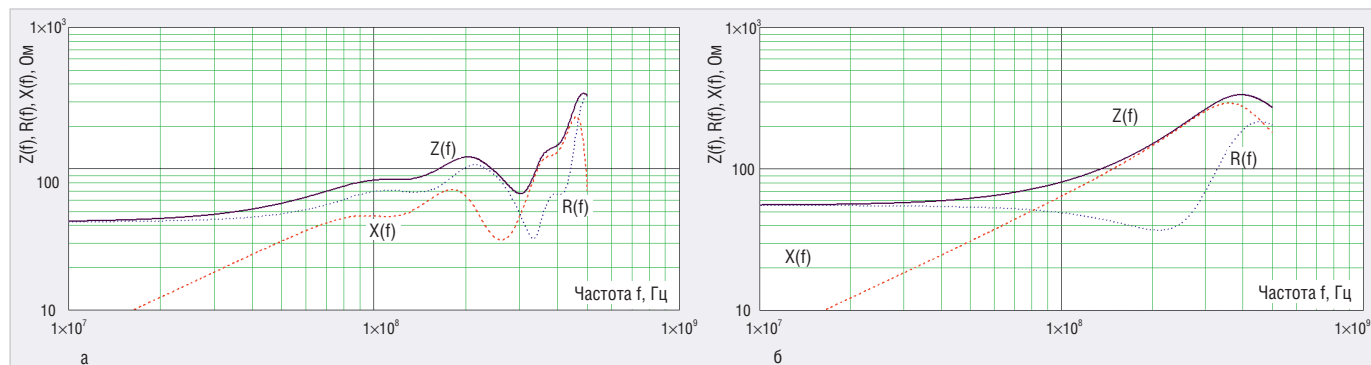


Рис. 15. Кривые $Z(f)$, $R(f)$ и $X(f)$, полученные для ФВ № 2 при расчёте спектральной плотности интегрированием в интервале от -2 до 8 нс (а) и от -2 до 2 нс (б)

При оцифровке каждого из графиков при помощи управления частотой дискретизации, предельное значение которой для осциллографов серии R&S RTO составляло 20 Гвыб/с, использовалось не менее 2000 точек, по которым строилась соответствующая кусочно-линейная аппроксимация. Для ФВ № 1 и № 2 принято, что $s_1(t) = s_2(t) = 0$ вне интервала $t = -2...8$ нс.

Для использования формулы (2) на основе данных справочника [12] были оценены индуктивности L_1 и L_2 по схеме на рисунке 1 для описанной реализации измерительной установки. В скрученном состоянии проводная врезка приблизительно представляла собой последовательность плоских одновитковых индуктивностей в количестве $N_1 = 22$ шт. с диаметром $D_1 = 6$ мм, выполненных проводом радиусом $r = 0,4$ мм. Нормали к плоскости контуров можно считать аксиальными, поэтому между ними нет взаимной индуктивности и, соответственно, потокоцепления. С другой стороны, в развёрнутом состоянии врезка представляет собой одновитковую петлю диаметром $D_2 = 0,15$ м. Исходя из этого, учитывая весьма высокие частоты измерений и отсутствие вблизи врезки ферромагнитных материалов, выражения для L_1 и L_2 имеют вид [12]:

$$\begin{aligned} L_1 &= N_1 \times \frac{\mu_0 \times D_1}{2} \times \left(\ln \left(\frac{D_1}{2r} \right) - 0,15 \right); \\ L_2 &= \frac{\mu_0 \times D_2}{2} \times \left(\ln \left(\frac{D_2}{2r} \right) - 0,15 \right). \end{aligned} \quad (8)$$

В соответствии с формулами (8) и значениями входящих в них параметров $L_1 = 0,155$ мкГн и $L_2 = 0,479$ мкГн.

Для дальнейших вычислений был выбран интервал идентификации от 10 до 500 МГц. Как видно из рисунка 13, выполнять расчёт спектральных плотностей $S_1(f)$ и $S_2(f)$ можно как в пределах всего временного интервала регистрации сигналов, так и в небольшой окрестности основного импульса. На рисунках 14а и 14б показаны расчётные кривые для функций $R(f)$ и $X(f)$, а также полного импеданса $Z(f) = |R(f) + jX(f)|$ для ФВ № 1 при интегрировании в интервале от -2 до 8 нс и от -2 до 2 нс соответственно.

Аналогичные результаты для ФВ № 2 приведены на рисунке 15. В соответствии с рисунком 13б полный интервал регистрации составляет от -2 нс до 8 нс, а окрестность импульса может быть ограничена значениями -2 и 2 нс.

Сопоставляя расчётные зависимости $Z(f)$ с зависимостями, приведёнными на рисунке 8, можно сделать вывод о том, что при интегрировании в более узком интервале (см. рис. 14б, 15б) достигается значительно большее соответствие. Немонотонный характер возрастания значения

$Z(f)$ с увеличением частоты (см. рис. 14а и 15а) также плохо соотносится с современными представлениями о физике работы ферритов [5, 6, 15]. Такое расхождение связано с «изрезанностью» функций $|S_1(f)|$ и $|S_2(f)|$ при использовании расширенных интервалов интегрирования. Таким образом, интервал регистрации рекомендуется ограничивать небольшой областью, содержащей основной импульс.

Расчёт зависимостей $s_2^*(t)$ и $s_2^{**}(t)$ выполнялся для импульсов длительностью 4 нс в соответствии с формулами (4) и (5) для предельной частоты, равной 250 МГц. Сигналы $s_1(t)$ и $s_2(t)$ для такого расчёта представлены на рисунке 16, смещение составило 0,3 нс.

На рисунке 17 показаны графики функций $s_2^*(t)$ и $s_2^{**}(t)$. Небольшое расхождение в форме сигналов обусловлено фазовыми погрешностями предложенного метода, связанными с точностью совмещения по времени импульсов, зарегистрированных с использованием схем на рисунках 1а и 1б, а также с неучтёнными свойствами элементов измерительной установки.

Таким образом, предложенный способ оценки частотных свойств ферритовых втулок получил практическую апробацию. Важным аспектом в расчётах является обеспечение сходимости используемых численных методов интегрирования, невыполнение которой способно привести к ошибочным резуль-

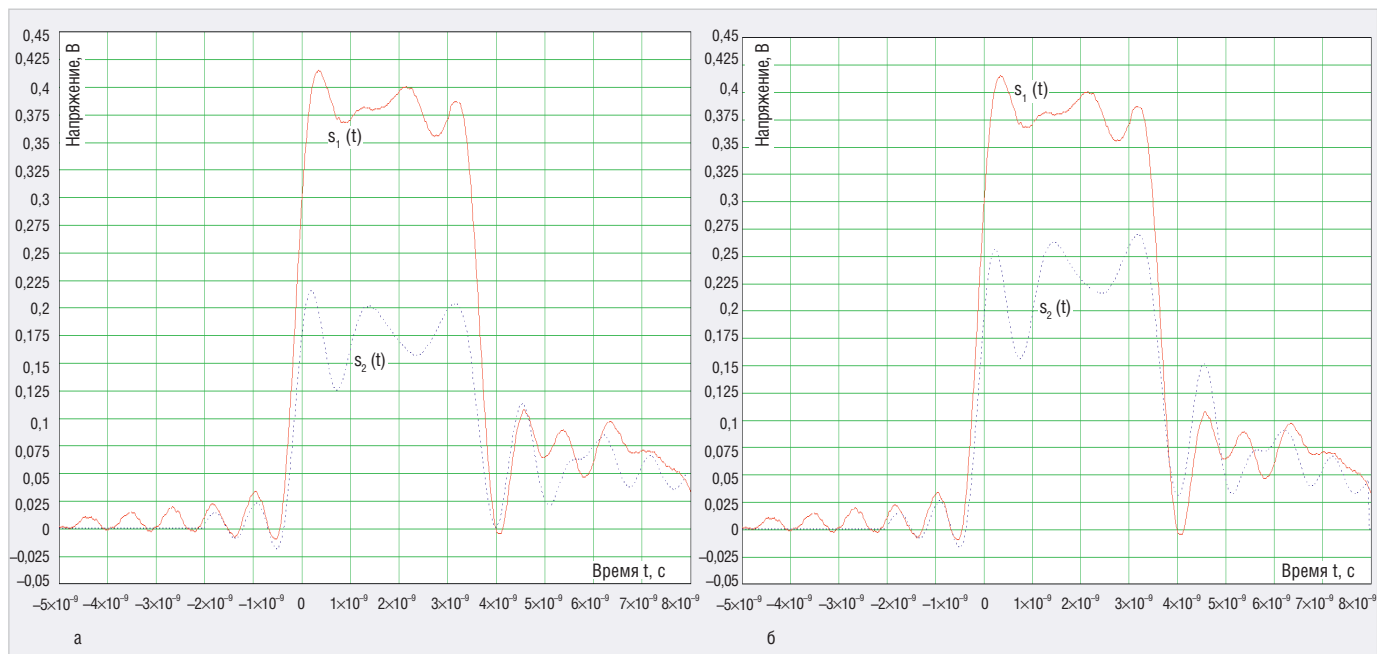


Рис. 16. Графики совмещённых функций $s_1(t)$ и $s_2(t)$ при длительности импульса 4 нс для ФВ № 1 (а) и для ФВ № 2 (б)

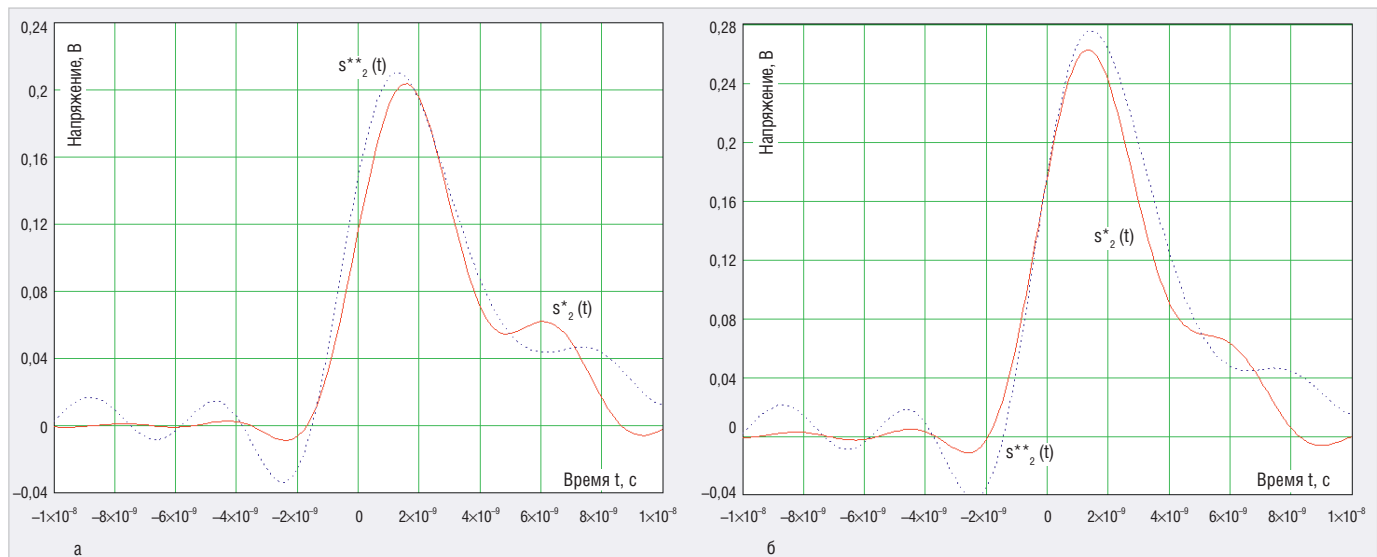


Рис. 17. Графики совмещённых функций $s^*2(t)$ и $s^{**}2(t)$ при длительности импульса 4 нс для ФВ №1 (а) и для ФВ №2 (б)

татам. Значение f_M обычно ограничено частотами в сотни мегагерц, и для измерений требуется импульс длительностью порядка 1...10 нс. Ввиду столь значительного разброса переменных расчёты по формулам (2) должны сопровождаться соответствующим допуском сходимости. Она гарантированно обеспечивается при его значении, равном $10/f_M$.

Заключение

Полученные результаты подтвердили эффективность предложенного для оценки частотных свойств ФВ подхода. Наличие такой информации позволяет перейти к универсальным математическим моделям, при помощи которых можно анализировать прохождение любых сигналов в интервале частот идентификации, что

оказывается весьма полезным при проектировании технических средств и в некоторых исследовательских приложениях.

Поскольку идентификация частотных характеристик ФВ базируется на использовании результатов измерений и связана с применением широкополосных сигналов, то результаты надлежащего качества для таких расчётов могут быть получены только при условии использования высококачественных средств измерений и оснастки. При этом сигналы должны оказывать минимальное влияние на результаты измерений, т.е. иметь достаточный запас по полосе частот, чувствительности и другим важнейшим характеристикам. В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют приборы профессио-

нального уровня, которые были упомянуты ранее.

Литература

13. Горелкин М., Лемешко Н., Струнин П. Расчёт собственного импеданса ферритовых втулок в составе электрических цепей на основе измерений во временной области. Часть 1. Современная электроника. 2020. № 8. С. 56.
14. Кечиев Л. Н. Печатные платы и узлы гигабитной электроники. М. Грифон. 2017. С. 424.
15. Крутичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. Т. 1. М. Мир. 1976. С. 353.
16. Clamp Filters (Ferrite Core with Case) for cable. ZCAT series. 2013. P. 13.
17. STAR-BUENO Snap Ferrite with optical closing control mechanism. Order 742275813. URL: www.we-online.com.





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



Современные DC/DC-источники питания компании TDK Lambda

Юрий Петропавловский (Таганрог)

В статье рассмотрены особенности современных DC/DC-источников питания компании TDK Lambda и приведены основные характеристики изолированных и неизолированных DC/DC-преобразователей различных серий из каталога TDK Lambda Russia.

TDK Lambda давно входит в число ведущих производителей источников питания, в том числе DC/DC-источников питания (DC/DC-преобразователей), и находится в одном ряду с такими компаниями, как Vicor Corporation, Murata Power Solutions, Mean Well, Traco Electronic AG, Recom Power, Cincon Electronics и др.

DC/DC-источники питания TDK Lambda пользуются спросом у производителей промышленного и телекоммуникационного оборудования, медицинской техники, систем связи, транспортных средств и аппаратуры для других отраслей промышленности. В каталоге компании TDK Lambda Russia 2020 года DC/DC-источники питания представлены в следующих категориях:

- в исполнении для монтажа в корпусе. В данную категорию входят

приборы серии EZA11kW с выходной мощностью 11000 Вт и серии Vega мощностью 450 Вт. Приборы серии EZA11kW предназначены для работы в системах аккумулирования энергии с литий-ионными батареями, солнечными панелями и ветрогенераторами, а также в системах регенерации энергии от роботов, кранов, грузоподъемников и наземных транспортных средств. Приборы серии Vega содержат от одного до десяти каналов, реализуемых с помощью полностью конфигурируемых модулей с одним или двумя выходами с напряжением от 1,8 до 62 В и током до 114 А;

- изолированные для монтажа на печатные платы. У TDK Lambda имеется более двух десятков серий DC/DC-преобразователей, в том

числе рекомендуемые модели серий CN-A, PXA, PXB, PXC, PXD, PXE, PXF;

- в исполнении для монтажа на DIN-рейку. В данную категорию входят приборы серий DPX («рекомендуемая модель») и DDA («новая линейка»);
- неизолированные для установки в точке нагрузки (POL) – приборы серий CE1000, i3A, i6A i7C («новая линейка»), iAF, iAH, iBF, iBH, iCF, iCG, iCH, PL;
- индивидуальные решения. На сайте компании также приведены популярные у заказчиков серии DC/DC-преобразователей: CC-E, CCG и EZ11kW.

Наибольшее число серий приборов компании представлено в категориях: изолированные для монтажа на печатные платы и неизолированные (POL) приборы. Классификационные параметры изолированных DC/DC-преобразователей из каталога TDD Lambda Russia 2020 года приведены в таблице 1. Приборы данной категории обеспечивают выходную мощность от 1,5 до 600 Вт и выходные напряжения от 1,5 до 48 В. Первичные и вторичные цепи всех приборов рассматриваемой категории не имеют гальванической связи (изолированы), напряжение изоляции составляет 500–2250 В.

В состав каждой серии приборов, приведённой в таблице 1, входят несколько (до двух десятков и более) исполнений с различными номинальными выходными напряжениями и токами. Ряд серий приборов (модулей) выпускается в корпусах, соответствующих стандартам альянса DOSA (Distributed-power Open Standards Alliance). Эти стандарты предусматривают шесть типоразмеров корпусов DC/DC-преобразователей, начиная с полноразмерного «кирпича» Full Brick (4,6×2,4×0,5 дюйма). Последующие типоразмеры уменьшаются в 2 раза (Half Brick), 4 раза (Quarter Brick), 8 раз (Eighth Brick), 16 раз (Sixteenth Brick) и 32 раза. Далее будут рассмотрены особенности изолированных DC/DC-преобразователей TDK Lambda со статусом «рекомендуемые модели» и «новая модель» более подробно.

CN-A (см. рис. 1) – в состав серии входят 16 исполнений DC/DC-преобразователей с номинальными выход-

Таблица 1. Классификационные параметры изолированных DC/DC-преобразователей

Серия	Мощность, Вт	U _{вых} , В	Формат корпуса	Число выходов	Примечания
CN-A	30...200	5, 12, 15, 24	Half Brick, Quarter Brick	1	Рекомендуемая модель
PXA	11,6...15	3,3, 5, 12, 15	1×1"	1	Рекомендуемая модель
PXB	13,2...15	3,3, 5, 12, 15	1×1"	1 или 2	Рекомендуемая модель
PXC	3,3...6	3,3, 5, 12, 15	DIP24	1 или 2	Рекомендуемая модель
PXD	6,6...30	3,3, 5, 12, 15	2×1"	1 или 2	Рекомендуемая модель
PXE	19,8...30	1,5...15	2×1,6"	1 или 2	Рекомендуемая модель
PXF	24...60	3,3...15	2×2"	1–3	Рекомендуемая модель
CC-E	1,5...25	3,3...15	Низкопрофильный	2	
CCG	15...30	3,3...24	1×1"	1	
CC-P-E	14,9...30	3,3, 5, 12, 15	Низкопрофильный	1	
GQA	120	5, 12...48	Quarter Brick	1	Для жёстких условий эксплуатации
HQA	85...120	5, 12...48	Quarter Brick	1	Для жёстких условий эксплуатации
IEA	66...78	5, 12...28	Eighth Brick	1	
IEH	300...317	10, 8, 12	Eighth Brick	1	
iQE	108...204	3,3, 5, 12, 15	Quarter Brick	1	
iQG	300...504	9,6, 12	Quarter Brick	1	
iQL	150...300	2,5...28	Quarter Brick	1	
iSA	75...82,5	3,3, 5, 12	Sixteenth Brick	1	
PAE	36...100	1,8...6	Eighth Brick	1	
PAF	264...702	3,3...28	Full Brick	1	
PAH	300...450	12, 28, 48	Half Brick	1	
PH-A	50...600	3,3...24	–	1	Новая модель
PV/PVD	1,5...30	3,3, 5, 12	SIP	1	
PXC-M	до 3	3,3...24	–	1 или 2	Для медицинских применений

TDK-Lambda

DDA



Новая линейка неизолированных DC/DC-преобразователей для монтажа на DIN-рейку.

Идеально подходят для создания дополнительных сильноточных выходных напряжений от AC/DC-преобразователя со стандартными выходными напряжениями 24 или 48 В, особенно в ограниченном пространстве компактных шкафов автоматики.

Работа в широком диапазоне входных напряжений от 9 до 53 В, регулировка выходных напряжений от 3,3 до 24 В в сочетании с высокой надёжностью, дистанционным управлением и сигналом Power Good для каждого канала делают эти источники идеальным решением для самых разных применений в сфере автоматизации.



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



Реклама



Рис. 1. DC/DC-преобразователь CN50A24-24



Рис. 2. DC/DC-преобразователь PXA-PR



Рис. 3. DC/DC-преобразователь PXB15

ными напряжениями 5, 12, 15, 24 В и максимальными выходными токами 8,4 А ($U_{\text{вых}} = 24$ В), 13,4 А (15 В), 16,7 А (12 В), 40 А (5 В), эффективность приборов достигает 88%. Ключевыми областями применения модулей данной серии являются приложения для железнодорожных транспортных средств, в том числе с батарейным питанием, а также для оборудования электростанций. Приборы соответствуют требованиям стандартов EN/EC 61373/ГОСТ 33787-2016 по вибростойкости и ударопрочности, стандартов EN50155/IEC60571 – по диапазону входных напряжений (60...160 В постоянного тока). Основные особенности и характеристики модулей серии:

- небольшие габариты – Quarter Brick (57,9×36,8×12,7 мм) и Half Brick (57,9×61×12,7 мм) – позволяют уменьшить размеры печатных площадок под установку модулей;
- полная выходная мощность в диапазоне температур от –40 до +100°C при влажности 5...95%;
- встроенные схемы защиты по току, повышенному и пониженному напряжению;
- нестабильность выходного напряжения по изменению тока нагрузки и входного напряжения – 40/20 мВ для исполнений с выходным напряжением 5 В;
- малый уровень пульсаций и шума – 100 мВ для исполнений с выходным напряжением 5 В.

Конструкция модулей предусматривает установку радиаторов охлаждения на основания, причём приборы обеспечивают полную выходную мощность при температуре основания 100°C, гарантийный срок службы модулей составляет 5 лет.

Серии изолированных DC/DC-преобразователей PXA...PXF выполнены для монтажа на поверхность и в отверстия печатных плат различных размеров. Все, кроме PXA, имеют защищённые корпуса. Эксплуатаци-

онные характеристики приборов этих серий (диапазон рабочих температур, влажность, вибростойкость, срок службы) примерно одинаковы, габариты и электрические характеристики модулей определяются конкретными исполнениями приборов.

Серия PXA (см. рис. 2) – компактные DC/DC-преобразователи с выходной мощностью 10–15 Вт, с габаритами 27,9×23,9 мм. В состав серии входят 16 исполнений приборов на выходные напряжения 3,3, 5, 12 и 15 В. К основным областям применения данных приборов компания относит телекоммуникационное оборудование, беспроводные системы связи, измерительная техника и тестовое оборудование, системы управления технологическими процессами производства. Основные особенности и характеристики модулей серии:

- исполнения для монтажа на поверхность и в отверстия печатных плат;
- диапазон входных напряжений 9...36 или 18...75 В, фиксированная частота переключения – от 270 ($U_{\text{вых}} = 3,3$ В) до 470 кГц (12 В);
- эффективность (КПД) до 88%;
- средняя наработка на отказ – 2 200 000 ч для исполнений с диапазоном входных напряжений 18...36 В/36...75 В, 1 322 000 ч – для исполнений с диапазоном 9...36 В/18...75 В;
- диапазон рабочих температур от –40 до +85°C.

Приборы серии PXB (см. рис. 3) отличаются от изделий серии PXA наличием защитной крышки. Основные электрические и эксплуатационные характеристики DC/DC-преобразователей в большинстве случаев одинаковы. В состав серии PXB входят более 30 исполнений приборов, отличающихся выходными напряжениями и токами, диапазоном входных напряжений. В отличие от серии PXA в состав рассматриваемой серии входят исполнения с двумя разнополярными выходами на напряже-



Рис. 4. DC/DC-преобразователь серии PXC

ния ±5, ±12, ±15 В. Габариты модулей составляют 25,4×25,4×9,9 мм.

В состав компактных (31,8×20,3×10,2 мм) DC/DC-преобразователей с выходной мощностью 3,3–6 Вт серии PXC (см. рис. 4) входят 14 исполнений с выходным напряжением 3,3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15 В. Модули серии выпускаются в исполнениях для монтажа на поверхность и в отверстия печатных плат. Приборы предназначены для тех же областей применения, что и модули серий PXA, PXB. В зависимости от исполнений модули серии могут работать при входных напряжениях 9–36 или 18–75 В с эффективностью 73–80%. Приборы серии отличаются повышенными эксплуатационными характеристиками. Например, средняя наработка на отказ составляет 3 165 000 ч, вибростойкость – 2G в течение 30 минут в диапазоне частот 10...55 Гц.

Серия PXD (см. рис. 5) – DC/DC-преобразователи с выходными мощностями 10, 15, 20 Вт и выходными напряжениями 3,3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15 В, выполненные в защищённых корпусах с габаритами 50,8×25,4×10,2 мм. Приборы серии предназначены для систем питания в точке нагрузки (POL), телекоммуникационном оборудовании, системах передачи и хранения данных. В состав серии входят более трёх десятков исполнений с диапазонами входных напряжений 9–18, 9–36, 18–36, 18–75 В. Эффективность приборов составляет 80–89%. Эксплуатацион-



Рис. 5. DC/DC-преобразователь PXD20



Рис. 6. DC/DC-преобразователь серии PXE

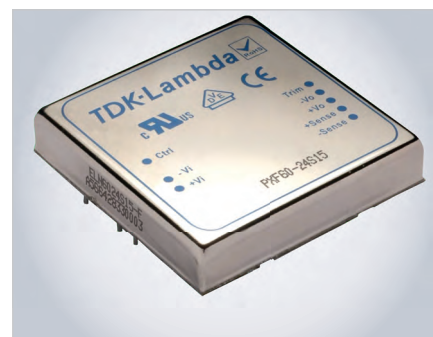


Рис. 7. DC/DC-преобразователь PXF60



Рис. 8. DC/DC-преобразователи серии PH-A



Рис. 9. DC/DC-преобразователи серии GQA

ные характеристики модулей серии в основном такие же, как и у рассмотренных приборов серии PXB.

Серия PXE (см. рис. 6) – DC/DC-преобразователи с выходной мощностью 20 и 30 Вт, выполненные в защищённых корпусах с габаритами 50,8×40,6×10,2 мм и предназначенные для применения в тех же областях, что и модули PXD. В состав серии входят 45 исполнений модулей с выходными напряжениями 1,5, 1,8, 2,5, 3,3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15 В. Диапазоны входных напряжений модулей состав-

ляют 10...40, 18...75, 9...18, 36...75 В, эффективность – 79–90%. Эксплуатационные характеристики приборов в основном такие же, как у модулей серий PXD, PXB.

Серия PXF (см. рис. 7) – DC/DC-преобразователи, отличающиеся от приборов серии PXE повышенной мощностью (40 и 60 Вт) и большими габаритами (51,3×45,7×10,2 мм). В состав серии входят более 40 исполнений с одним, двумя и тремя выводами. Выходные напряжения исполнений с одним выходом составляют 3,3, 5, 12 и

15 В, диапазоны входных напряжений – 9...18, 9...36, 18...36 и 36...75 В, эффективность – 84–90%. Выходные напряжения исполнений с двумя выходами составляют ±12 и ±15 В, диапазоны входных напряжений – 9...18, 9...36, 18...36 и 18...75 В, эффективность – 85–87%. Модели исполнений с тремя выходами обеспечивают выходные напряжения 3,3 и ±12 В, 5 и ±12 В, 5 и ±15 В, диапазоны входных напряжений – 9...18, 18...36 и 36...75 В, эффективность – 83–88%. Эксплуатационные характеристики приборов в основном такие же, как у модулей PXE.

В категории изолированных источников питания представлена и серия со статусом «новая модель» – PH-A (см. рис. 8). В состав серии входят более двух десятков типов DC/DC-преобразователей с выходной мощностью от 50 до 600 Вт, выполненных в защищённых корпусах двух типоразмеров – 58,3×37,2×12,7 мм и 57,9×50,8×12,7 мм. Основные особенности и характеристики модулей серии:

- возможность применения в высоковольтных приложениях;
- возможность кондуктивного и конвекционного охлаждения (с опциональными радиаторами охлаждения HAQ-10T, HAN-10T, HAN-15L);
- возможность эксплуатации в жёстких условиях внешней среды: диапазон рабочих температур от –40 до +100°C, влажность 5...95%, высота над уровнем моря до 3000 м, вибростойкость до 49 м/с² в диапазоне частот 10...55 Гц, ударпрочность до 196 м/с², средняя наработка на отказ 2 128 235 ч (модели с P_{вых} до 150 Вт) и 1 174 511 ч (модели с P_{вых} 300...600 Вт);
- отсутствие необходимости внешних трансформаторов и лёгкость применения в конечных устройствах;
- широкий диапазон входных напряжений (200...400 В);
- высокая эффективность (до 93%);
- соответствие стандартам IEC/EN62477-1 OVC III (PH300A и 600A)

определяет требования к силовым электронным преобразовательным системам и оборудованию; соответствие стандартам IEC/UL/CSA/EN/ГОСТ62368-1 – аудио-, видеоаппаратура, оборудование информационных технологий и техники связи; IEC/EN/ГОСТ60950-1 – оборудование информационных технологий;

- номинальные выходные напряжения/максимальный выходной ток модулей серии (с учётом подстройки $U_{\text{вых}}$): 2,9...3,96 В/20 А; 4...6 В/15 А; 2,5...6 В/60 А; 9,6...13,2 В/12,5 А; 4,8...14,4 В/25 А; 12...16 В/10 А; 19,2...26,4 В/6,3 А; 9,6...28,8 В/12,5 А; 14,4...28,8 В/25 А; 22,4...30,8 В/5,4 А; 11,2...33,8 В/10,8 А; 38,4...52 В/3,2 А; 19,2...57,6 В/6,3 А;
- высокая стабильность выходного напряжения и низкий уровень пульсаций и шумов.

Модули серии оснащены схемами защиты от перегрузки по току и напряжению, имеют возможность дистанционного управления и последовательного соединения нескольких источников. Приведённые характеристики и возможности приборов рассматриваемой серии позволяют применять их в широком спектре промышленных и специальных приложений, в том числе с тяжёлыми условиями эксплуатации.

Для эксплуатации в жёстких условиях предназначены также DC/DC-преобразователи серий HQA, GQA (см. рис. 9) с выходной мощностью до 120 Вт, выполненные в корпусах типоразмера Quarter Brick. Приборы данных серий рассчитаны для работы в сетях постоянного тока 28 В (диапазон 9...40 В), выходные напряжения – 5, 12, 15, 24, 28 и 48 В. Рабочий диапазон температур приборов серии HQA от –55 до +115°C, влажность по военному стандарту MIL-STD883 Method 1004.7, вибростойкость и ударопрочность по военному стандарту MIL-STD202G, Method 201A, 213B. Приборы серий также удовлетворяют требованиям стандартов IEC/EN/UL/CSA/ГОСТ62368-1, IEC/EN/UL/CSA/ГОСТ60950-1 (см. ранее).

В категории неизолрированных DC/DC-преобразователей каталога TDK Lambda Russia 2020 года представлено 12 серий приборов, предназначенных для применения в качестве источников питания в точке нагрузки. Классификационные характеристики неизолрированных DC/DC-преобразователей данной категории приведены в таблице 2, внешний вид модулей показан на рисунке 10.

Неизолрированные DC/DC-преобразователи TDK Lambda, представленные в таблице 2, позволяют реализовать рас-

Таблица 2. Классификационные параметры неизолрированных DC/DC-преобразователей

Серия	$U_{\text{вх}}^{\text{н}} \text{ В}$	$I_{\text{вх}}^{\text{н}} \text{ А}$	$U_{\text{вх}}^{\text{н}} \text{ В}$	Эффективность, %	Примечания
CE1000	1...3,3	1,5...2,5	3,3...16	86...91	Размеры 18,3×12,3×4,5 мм
i3A	3,3...30	4,5...8	9...53	89...98	$P_{\text{вых}}$ 100 Вт, размеры 23,4×19,1 мм
i6A	3,3...40	10...20	9...53	90...97	$P_{\text{вых}}$ 250 Вт, размеры 22,9×39 мм
i7C	5...28/9,6...48	8...12,5	9...53	91...97	$P_{\text{вых}}$ 300 Вт, размеры 36,8×34 мм
iAF	0,7...5,5	20	4,5...14	82...93,5	Размеры 33×13,4×7,75 мм
iAH	0,7...5,5	40	3,5...17	84...96	Размеры 33×13,5×10,2 мм
iBF	0,7...5,5	12	4,5...14	83...94,5	Размеры 20,3×11,4×8,5 мм
iBH	0,7...5,5	20	3,5...14	85,5...96	Размеры 20,3×11,4×9,9 мм
iCF	0,7...5,5	3	4,5...14	85...93,5	Размеры 12,2×12,2×4,45 мм
iCG	0,7...5,5	6	4,5...14	84...94	Размеры 12,2×12,2×8,5 мм
iCH	0,7...8,5	12	4,5...14	88,5...97	$P_{\text{вых}}$ 85 Вт, размеры 12,2×12,2×8,5 мм
PL	0,75...5	10...16	6...14	82...93	Размеры 33×13,4×9,3 мм



Рис. 10. Неизолрированные DC/DC-преобразователи TDK Lambda

мах питания с распределённой архитектурой, состоящих из главного изолированного (без гальванической связи между входными и выходными цепями) источника питания и нескольких меньших DC/DC-преобразователей, расположенных вблизи наиболее важных потребителей (нагрузок). Особенно полезной такая архитектура является для питания больших интегральных схем: микропроцессоров, ПЛИС и устройств памяти с очень низким напряжением питания (от 0,7 В), большим импульсным токопотреблением. Применение POL-источников позволяет уменьшить длину проводников питания и их индуктивность.

Неизолрированные DC/DC-преобразователи TDK Lambda, представленные в таблице 2, позволяют реализовать рас-

личные решения систем питания с распределённой архитектурой, выходным током от 1,5 (CE1000) до 40 А (iAH) и мощностью до 300 Вт (i7C). Выходные напряжения приборов рассматриваемой категории находятся в основном в интервале 0,7–5,5 В. К более высоковольтным относятся модули серий i6A, i7C. Все модули категории неизолрированных POL DC/DC-преобразователей отличаются высокой эффективностью (не менее 82%, см. табл. 2). Рассмотрим особенности некоторых серий приборов.

В серию i7C (статус «новая линейка», «популярные модели») входят десять исполнений DC/DC-преобразователей повышающего/понижающего типа с выходным напряжением/током 9,6–48 В/8 А и 5–28 В/12,5 А. Модули выпускаются в трёх конструктивных



Рис. 11. DC/DC-преобразователь серии DPX

исполнениях (см. рис. 10), в том числе с радиаторами охлаждения. Основные характеристики приборов:

- выходная мощность до 300 Вт в компактном корпусе Sixteenth Brick и высокая эффективность (до 97%);
- диапазон входных напряжений 9...53 В, входной ток до 25 А;
- нестабильность выходного напряжения по нагрузке и входу не более 0,8%;
- встроенные схемы защиты от перегрузки по току, напряжению и от перегрева;

- диапазон рабочих температур от -40 до +125°C, влажность 5...95%.

Статус «рекомендуемые модели» имеют и DC/DC-источники питания серии DPX для монтажа на DIN-рейку (см. рис. 11). Приборы серии предназначены для применения в коммуникационных системах, промышленных системах управления и системах автоматизации производства. В состав серии DPX20W входят 14 исполнений с одним и двумя выходами на напряжения 3,3, 5, 12, 15, ± 5 , ± 12 и ± 15 В. Приборы соответствуют классу В стандарта EN55022/ГОСТ Р 55022-2012 по электромагнитной совместимости, содержат встроенные схемы защиты по току, напряжению, а также защиты от подачи входного напряжения с неправильной полярностью. Другие особенности и характеристики приборов серии:

- диапазоны входных напряжений 9,5...36, 18...75 В, максимальные выходные токи от 667 мА ($U_{\text{вых}} = 15$ В) до 5,5 А (3,3 В);
- эффективность 83–87%;
- диапазон рабочих температур окружающей среды от -40 до +78°C при полной нагрузке;

- средняя наработка на отказ 139 000 ч, вибростойкость в соответствии с военным стандартом MIL-STD-810F;
- габариты/вес 57,6×24,5×125 мм / 147,5 г.

Поставки продукции TDK Lambda обеспечивают региональные представительства компании и уполномоченные дистрибьюторы в различных странах мира. В России официальными дистрибьюторами DC/DC-источников питания TDK Lambda являются компании «Симметрон», «Компэл», «ЮЕ-интернейшнл» и другие. Услуги по квалифицированной техподдержке клиентов TDK-Lambda осуществляет первый в СНГ сервисный центр, открытый в Москве в 2014 году. Центр технической поддержки компании в первую очередь предназначен для предоставления гарантийного ремонта и тестирования продуктов TDK Lambda. Центр оснащён всем необходимым оборудованием для оперативной диагностики и ремонта продукции компании и укомплектован квалифицированными специалистами. Услуги центра распространяются только на продукты, ввезённые в СНГ через официальные дистрибуторы компании. ©



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 "АЙКЕП 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



Периферия для измерителя-регулятора

Сергей Шишкин (schischkin.sergej2014@yandex.ru)

В данной статье рассматриваются вопросы взаимодействия измерителя-регулятора (терморегулятора) и периферийных устройств, которые могут быть подключены к нему при организации локальной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП).

В журналах по автоматизации часто описываются такие крупные проекты, как автоматизация угольной шахты или АСУ для торгового центра, аппаратно-программный комплекс для «умного» города. Тем не менее сравнительно недорогие локальные АСУ ТП, где решаются такие задачи, как выпекание хлеба, обжиг кирпича, закалка стальных деталей и другие, по-прежнему остаются актуальными.

В структуре любого программно-аппаратного комплекса (ПАК) или распределённой системы управления и сбора данных для АСУ ТП можно выделить несколько уровней:

1. первичные средства измерения (датчики температуры, силы, давления и пр.), шаговые двигатели, концевые выключатели и т.д.;
2. вторичные измерительные преобразователи, нормирующие усилители, терморегуляторы, реле времени и т.д.;
3. устройство связи с объектом, контроллер узла шины (шинный кон-

троллер), модули аналогового и дискретного ввода;

4. автоматизированное рабочее место оператора (АРМ оператора).

Как правило, аппаратная часть локальных АСУ ТП представлена на первом и втором уровнях. При наличии сетевых интерфейсов у приборов и оборудования второго уровня их легко можно подключить к ПАК более высокого уровня. В технической литературе кроме понятия "локальная АСУ ТП" встречается ещё термин «локальные регуляторы». Локальные регуляторы – это устройства, которые сочетают в себе функции измерения технологического параметра, его индикации и управления этим параметром. Обычно локальные регуляторы контролируют не более 10 технологических параметров, территориально расположены близко от объекта автоматизации и не позволяют вносить изменения в алгоритм регулирования.

Главным функциональным узлом в локальной автоматизированной систе-

ме управления обогревом (или охлаждением) технологического процесса, вокруг которого строится сама система, является измеритель-регулятор (далее – терморегулятор). Терморегулятор может решать следующие задачи:

- многоканальное или одноканальное регулирование температуры;
- регулирование разности температур между каналами;
- работа в режиме двух- или трёхпозиционного, ПИ- или ПИД-регулирования температуры;
- контроль различных температурных режимов;
- измерение, сигнализация, регулирование температуры в распределённых автоматизированных системах управления технологическими процессами и т.д.

Функциональная схема двухканального терморегулятора с подключёнными датчиками температуры (термопреобразователями сопротивлений) представлена на рисунке 1. Многоканальный терморегулятор содержит следующие аппаратные устройства:

- устройство ввода информации (аналого-цифровой преобразователь с коммутатором каналов);
- устройство управления (микроконтроллер, ПЗУ с программой, энер-

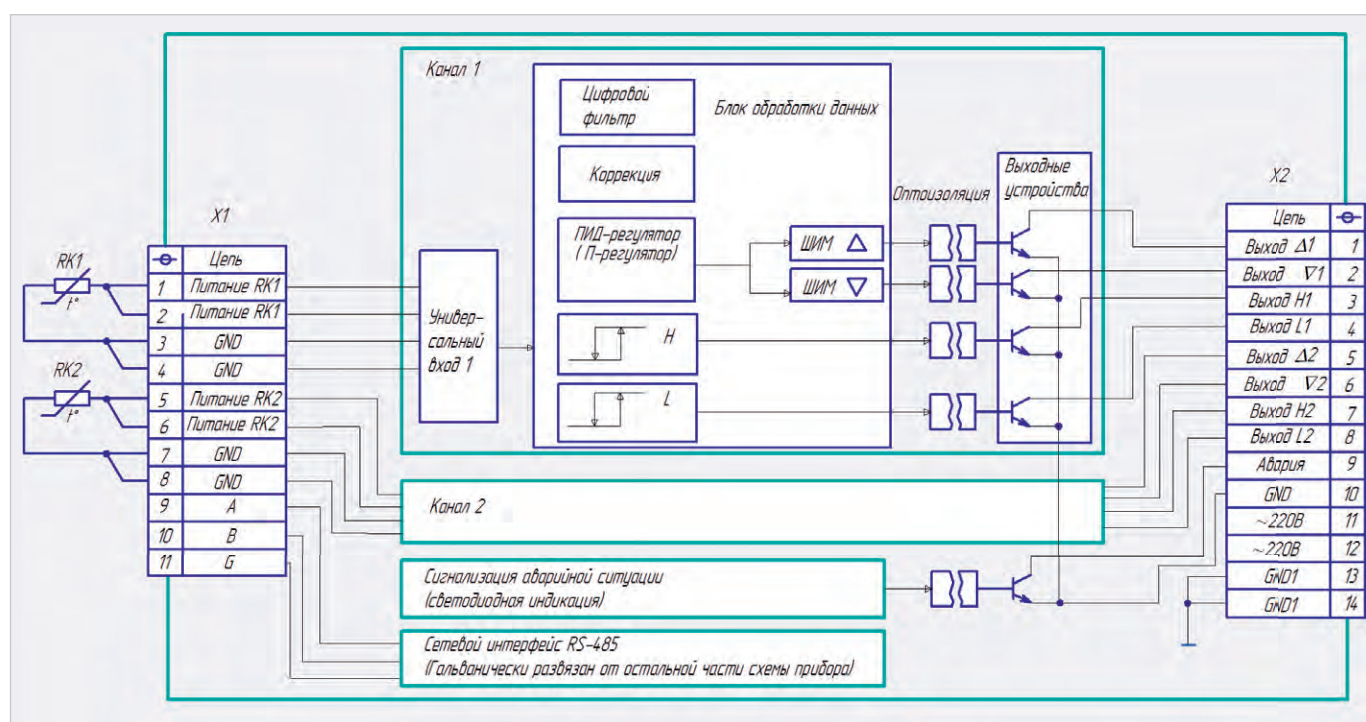


Рис. 1. Функциональная схема двухканального терморегулятора

гонезависимое запоминающее устройство, в котором сохраняются параметры регулятора при отключённом питании);

- устройство формирования выходных сигналов;
- пульт управления с индикаторами режимов работы регуляторов и состояния выходных сигналов;
- встроенный модуль сетевых интерфейсов (RS-485, CAN, PROFIBUS и пр.);
- встроенный блок питания.

В состав каждого канала измерения и регулирования терморегулятора, как правило, входят следующие функциональные узлы: универсальный вход, блок обработки данных, выходное устройство. Под универсальным входом понимается устройство, к которому подключаются первичные датчики (термопары, термопреобразователи сопротивления, датчики с унифицированными выходными сигналами). Если, например, к входу подключается термопреобразователь сопротивления (ТПС), то его сопротивление преобразуется в соответствии с его номинальной статической характеристикой (НСХ) в значение измеренной температуры. Измеряемое сопротивление обрабатывается аналого-цифровым преобразователем в виде цифрового кода, поступающего в микроконтроллер блока обработки данных. В блоке обработки данных цифровое значение измеряемой величины может быть подвергнуто фильтрации (для уменьшения влияния случайных помех), коррекции, масштабированию. Микроконтроллер блока обработки данных, работая по заданной программе, управляет состоянием выходных устройств, обменом информацией по интерфейсу и т.д.

Полученное значение отображается на измерительном индикаторе терморегулятора. Тип применяемого первичного датчика и диапазон измерения устанавливаются отдельно для каждого канала при конфигурировании (начальной установке). Каждый ПИД-регулятор выполняет сравнение измеренного значения канала с заданными величинами (уставками). ПИД-регулятор обрабатывает сигнал рассогласования между измеренным сигналом и уставкой и выдаёт сигнал управления на широтно-импульсные модуляторы. Параметры работы и функции ПИД-регуляторов задаются независимо для каждого канала. Выходные сигналы терморегуляторов с выходных устройств управляют

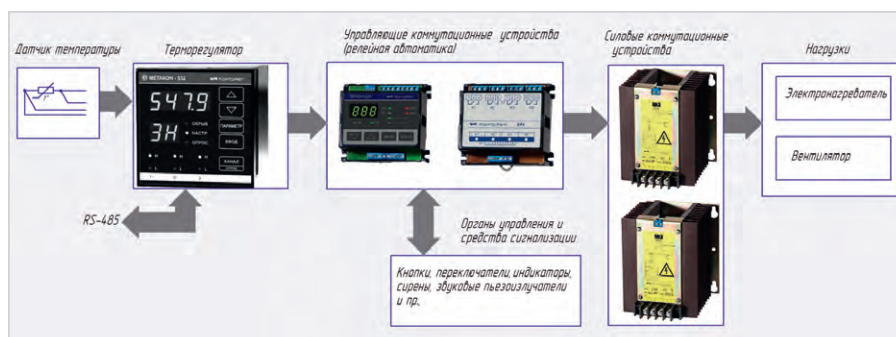


Рис. 2. Структурная схема локальной АСУ ТП с реализацией одноканального двухпозиционного регулирования

внешними исполнительными устройствами. Выходное устройство может быть ключевым или аналоговым. В качестве ключа может применяться транзистор с открытым коллектором, транзисторная оптопара, симисторная оптопара, электромагнитное реле. Аналоговое выходное устройство, как правило, это аналоговый выход по току или напряжению. Выходные устройства терморегуляторов гальванически развязаны от остальной схемы терморегулятора. Компараторы (выходы Н и L) предназначены для сигнализации выхода измеряемого технологического параметра за допустимые пределы.

На рисунке 2 приведена структурная схема локальной АСУ ТП с реализацией одноканального двухпозиционного регулирования. В данном случае терморегулятор управляет тепловой пушкой, в состав которой входит нагреватель и вентилятор. Аналогичная схема может применяться для многоканальных терморегуляторов, каждый канал которых может управлять независимым нагревателем (холодильником) и контролировать соответствующие температуры нагрева. Периферией для терморегулятора служат различные коммутационные устройства: мощные силовые и управляющие. Мощные силовые периферийные устройства предназначены для включения нагрузок (нагревателей, вентиляторов, холодильников). К управляющей коммутационной периферии относятся реле времени, блоки реле, а также кнопки, индикаторы, средства световой и звуковой сигнализации, которые позволяют реализовать необходимый алгоритм контроля и управления процессом при двух- и трёхпозиционном регулировании.

Существует большое количество задач, в которых заданная температура должна поддерживаться в течение определённого интервала времени. Для решения таких задач есть программные

регуляторы, например «Метакон-613» и «Метакон-614» [5]. Однако в ряде случаев более целесообразным и дешёвым может оказаться применение обычного регулятора и реле времени. Например, имеется электрическая печь для закладки деталей в печь, выемки из печи совершаются термистом вручную. Выдержка деталей при температуре ($T \pm \Delta T$) производится в течение t часов. Отсчёт времени должен начинаться с момента достижения температурой уставки (то есть T), так как при помещении детали в печь последняя успевает остыть ниже допустимого уровня. Через t часов необходимо оповестить термиста включением световой и звуковой сигнализации.

На рисунке 3 приведена структурная схема локальной АСУ ТП с реализацией ПИД-регулирования для электроприводной арматуры. При применении многоканальных терморегуляторов каждый канал обеспечивает управление своим клапаном с приводом от однофазного электродвигателя и сигнализацией по двум независимым уровням. Применение реверсивного блока коммутации (БКР) позволяет управлять как электродвигателем привода клапана, так и электромагнитным тормозом исполнительного механизма.

Для реализации различных алгоритмов работы локальных АСУ ТП вместе с терморегулятором вполне обоснованно применение плат контроллеров (на базе микроконтроллеров семейств PIC, MCS-51, AVR и пр.), которые позволяют реализовать более сложные программы работы АСУ ТП с меньшими затратами по сравнению с релейной автоматикой. Приведём конкретный пример применения двухканального терморегулятора ТРМ202 с платой контроллера на базе контроллера AT89C4051-24PU. Функцию поддержания заданных температур в системе выполняет терморегулятор ТРМ202 производства компа-



Рис. 3. Структурная схема локальной АСУ ТП с реализацией ПИД-регулирования для электроприводной арматуры

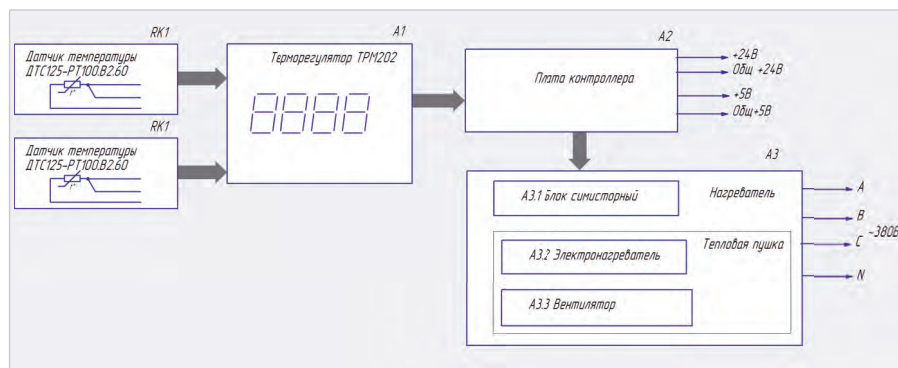


Рис. 4. Функциональная схема системы

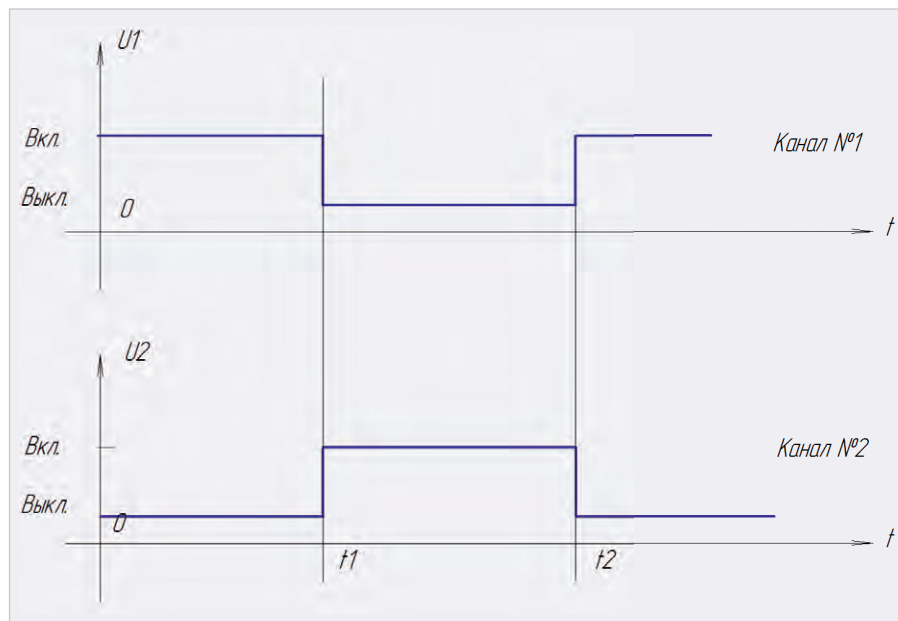


Рис. 5. Временная диаграмма, поясняющая алгоритм работы системы

нии «ОВЕН» [2]. Данный терморегулятор зарегистрирован в Госреестре средств измерений.

В производственных (складских) помещениях в вечернее и ночное время при отсутствии рабочего персонала экономии энергоресурсов можно получить за счёт понижения температуры обогреваемых помещений. Пред-

лагаемая система обогрева позволяет автоматически поддерживать заданные температуры в дневное и ночное время. Сформулируем основные требования к системе обогрева (далее – «система»):

- система должна автоматически поддерживать в двух интервалах времени (дневном и ночном) в диапазоне от 1 мин до 24 ч заданные температуры;

- система работает в режиме реального времени;
- в качестве источника разогрева применяется мощная тепловая пушка.

Функциональная схема такой системы представлена на рисунке 4. Основные узлы схемы: терморегулятор А1, плата контроллера А2, нагреватель А3. Нагреватель состоит из блока симисторного А3.1 и тепловой пушки (электронагревателя А3.2 и вентилятора А3.3). Временная диаграмма, поясняющая алгоритм работы системы представлена на рисунке 5.

В терморегуляторе ТРМ202 имеется два независимых канала № 1 и № 2 для измерения и поддержания заданной температуры. Заданные температуры (дневная и ночная) и другие параметры каналов программируются заранее. Выходные сигналы терморегулятора поступают на плату контроллера А2. Выходные сигналы платы контроллера обеспечивают управление нагревателем. Можно сказать, что плата контроллера обеспечивает поддержание заданных температур в заданные интервалы времени. На плате контроллера реализован таймер. До момента времени t_1 (см. рис. 5) система поддерживает температуру, заданную в канале № 1 терморегулятора (дневная температура). С момента времени t_1 до момента времени t_2 система поддерживает температуру, заданную в канале № 2 терморегулятора (ночная температура). Интервал поддержания ночной температуры ($\Delta t = t_2 - t_1$) задается программно.

У мощных тепловых пушек при выключении во избежание нагрева корпуса и выхода из строя находящихся на нём элементов управления необходимо сначала выключить электронагреватель, а затем, с некоторой задержкой, вентилятор. То есть после выключения электронагревателя производится обдув до тех пор, пока температура на выходе тепловой пушки не достигнет комнатной. Понятно, что требуемая задержка по времени Δt_1 при выключении вентилятора зависит от технических характеристик тепловой пушки (мощности, производительности и габаритных размеров). Плата контроллера реализует вышеуказанную функцию: осуществляет задержку между выключением электронагревателя и вентилятора. Данный интервал времени (задержка) задается программно. В алгоритме работы платы контроллера можно выделить шесть режимов работы:

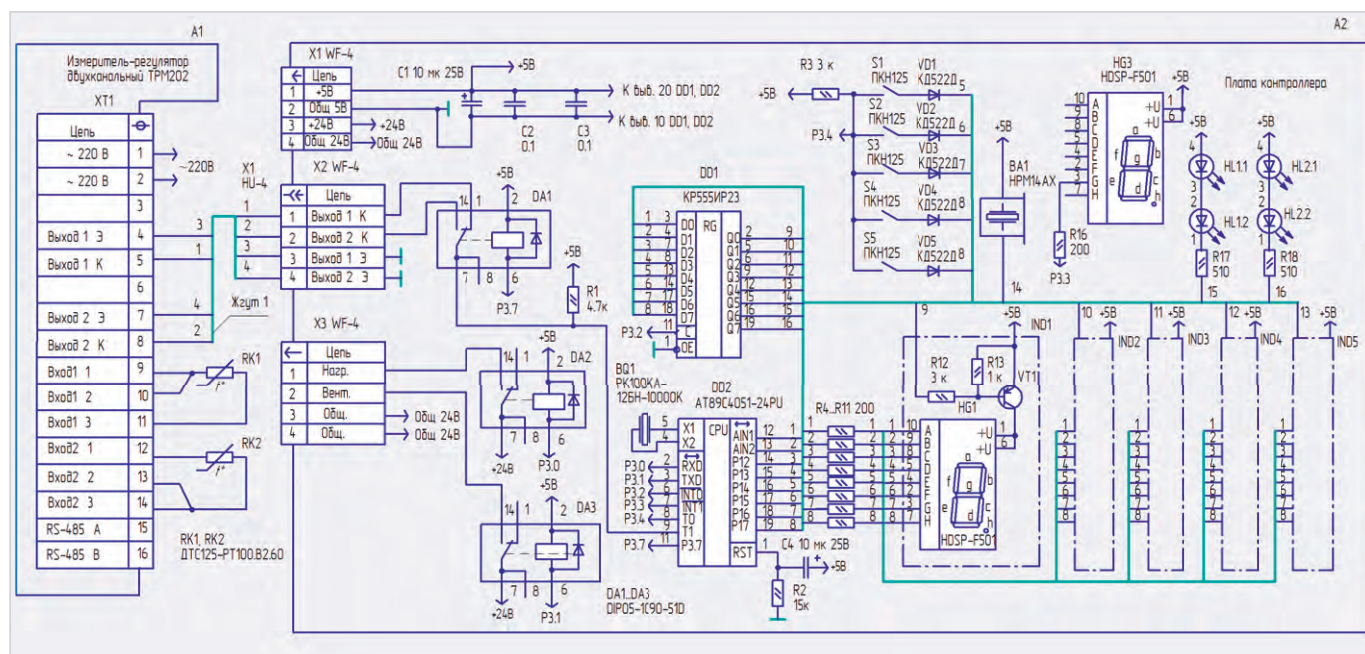


Рис. 6. Принципиальная схема системы

- режим № 1 (часы 1) – отсчёт и индикация текущего времени: минуты – секунды;
- режим № 2 (часы 2) – отсчёт и индикация текущего времени: часы – минуты;
- режим № 3 (время 1) – задание и индикация значения времени t1 (начало интервала поддержания ночной температуры);
- режим № 4 (время 2) – задание и индикация значения времени t2 (конец интервала поддержания ночной температуры);
- режим № 5 (задержка) – задание и индикация значения задержки $\Delta t1$ (временная задержка выключения вентилятора после выключения электронагревателя).
- режим № 6 (контроль задержки) – визуальный контроль увеличения (инкремент) времени задержки $\Delta t1$, начиная с нулевого значения (текущее значение). Как только текущее значение сравнивается с заданным, сразу выключится вентилятор в тепловой пушке. На дисплее снова индицируется нулевое значение.

Принципиальная схема системы приведена на рисунке 6. Нагреватель АЗ подключается к плате контроллера через соединитель X3. Терморегулятор А1 подключается к плате контроллера А2 через жгут 1. Принципиальная схема нагревателя в статье не приводится. Нагреватель состоит из блоков симисторных, электронагревателя и вентилятора. Управляющие сигналы с соединителя X3 платы кон-

троллера поступают на управляющие входы блоков симисторных, которые подключают к сетевому напряжению электронагреватель и вентилятор. Номинальная мощность нагревателя определяется объектом регулирования.

Рассмотрим основные часовые функции платы контроллера. В таймере предусмотрены следующие функции: индикация текущего времени в 24-часовом формате в режимах «часы – минуты» и «минуты – секунды»; установка текущего времени; установка включения времени t1 и включения времени t2, установка задержки $\Delta t1$ выключения вентилятора. Все указанные параметры могут быть изменены программно. Если текущее время совпало с установленными значениями t1 и t2, то на 10 с включается звуковая сигнализация с частотой повторения 1 Гц.

Интерфейс управления системы состоит из лицевой панели терморегулятора и органов управления платы контроллера. Интерфейс платы контроллера включает в себя: клавиатуру (кнопки S1–S5), световые полосы HL1, HL2 и блок индикации из шести цифровых семисегментных индикаторов HG1–HG6. Кнопки клавиатуры имеют следующее назначение:

- S1 (P) – выбор режима работы часов: «часы 1», «часы 2», «время 1», «время 2», «задержка», «контроль задержки»;
- S2 (Δ) – увеличение на единицу значения каждого разряда при установке времени в режиме «часы 2», а также при установке времени в ре-

жиме «время 1», «время 2», «задержка», «контроль задержки»;

- S3 (B) – выбор разряда при установке текущего значения времени в режиме «часы 2» и в режимах «время 1», «время 2», «задержка», «контроль задержки». В выбранном разряде включается точка «h»;
- S4 (C) – кнопка пуск/стоп. Данной кнопкой разрешается/запрещается счёт времени;
- S5 (K) – кнопка выбора каналов температуры (№ 1 или № 2) терморегулятора А1 к микроконтроллеру DD2 при текущем времени.

Если выбран канал температуры № 1, включена световая полоса HL1, к микроконтроллеру DD2 подключён выход № 1 терморегулятора. Если выбран канал температуры № 2, включена световая полоса HL2, соответственно, к микроконтроллеру DD2 подключён выход № 2 терморегулятора.

Алгоритм работы системы обогрева следующий. После подачи питания нужно задать параметры: в терморегуляторе А1 – значения уставок для каналов № 1 и № 2; на плате контроллера – значение времени t1; значение времени t2, значение времени задержки $\Delta t1$. Допустим, что для канала № 1 терморегулятора задана уставка T1 (дневная температура). Для канала № 2 терморегулятора задана, соответственно, уставка T2 (ночная температура). Допускаем также, что система включается в дневное время, и текущая температура меньше T1. После нажатия на кнопку S4 лог. 0 с вывода пятиклеммной колодки

ХТ1 терморегулятора поступает через жгут 1 и контакт 1 соединителя Х2 и замкнутые контакты 1, 7 реле DA1 на вывод 9 микроконтроллера DD2. На выводе 11 микроконтроллера присутствует лог. 1. При этом микроконтроллер DD2 выставляет лог. 0 на выводах 2, 3. Включаются реле DA2, DA3. Через замкнутые контакты 7, 14 данных реле и соединитель Х3 напряжение +24 В поступает на управляющие входы составных частей нагревателя. В тепловой пушке одновременно включаются электронагреватель и вентилятор. Как только текущая температура достигнет заданной уставки, выходная оптопара канала № 1 терморегулятора закроется. Лог. 1 с вывода пятиклеммной колодки ХТ1 терморегулятора поступает на вход 9 микроконтроллера DD2. При этом микроконтроллер выставляет лог. 1 на выводе 2 и через время равное Δt_1 – лог. 1 на выводе 3. Тем самым сначала выключаются электронагреватель в тепловой пушке и через время, равное Δt_1 , вентилятор. Подобные циклы включения и выключения тепловой пушки будут поддерживать температуру в помещении, равную заданной уставке Т1.

Пусть текущее время стало равно t_1 (начало ночного интервала времени). Тогда микроконтроллер DD2 устанавливает лог. 0 на выводе 11, включая реле DA1. В данном реле замыкаются контакты 7, 14. Теперь на вывод 9 микроконтроллера DD1 поступает сигнал с вывода восьмиклеммной колодки ХТ1 терморегулятора. То есть подключается канал №2 терморегулятора. Тепловая пушка будет поддерживать температуру в помеще-

нии, равную заданной уставке Т2. Пусть текущее время стало равным значению t_2 (конец ночного интервала времени). Тогда микроконтроллер DD1 устанавливает лог. 1 на выводе 11, отключая реле DA1. Снова замыкаются контакты 1, 7 реле DA1. Теперь тепловая пушка будет поддерживать температуру в помещении, равную заданной уставке Т1.

Рассмотрим функциональные узлы принципиальной схемы системы. Основой устройства служит микроконтроллер DD2, рабочая частота которого задаётся генератором с внешним резонатором ZQ1 на 10 МГц. Пьезоэлектрический излучатель BA1 включается с вывода 15 регистра DD1. Сигнал с выхода 13 микроконтроллера через резистор R16 с периодом 1 с включает сегмент g индикатора HG3. Клавиатура собрана на кнопках S1–S5. Для функционирования клавиатуры также задействован вывод 8 микроконтроллера DD2. Резисторы R17, R18 являются токоограничительными для световых полос HL1 и HL2. Выходные сигналы с каналов № 1 и № 2 терморегулятора А1 подключаются к выводу 9 микроконтроллера DD2 через контакты реле DA1. Само реле управляется с вывода 11 микроконтроллера DD2. Каналы управления нагревателем и вентилятором собраны соответственно на реле DA2 и DA3, которые управляются с выводов 2 и 3 микроконтроллера DD2. Динамическая индикация собрана на регистре DD1, транзисторах VT1–VT5, цифровых семисегментных индикаторах HG1, HG2, HG4–HG6 (HG2, HG4–HG6 показаны в блоках IND2–IND5 на рисунке 4). Питательное напряжение поступает на

плату контроллера с соединителя Х1. Конденсатор С1 фильтрует пульсации в цепи питания +5 В. Сразу после подачи питания на выводе 1 микроконтроллера DD1 через RC-цепь (резистор R2, конденсатор С4) формируется сигнал системного аппаратного сброса микроконтроллера DD2. Затем происходит инициализация программы, в которой задаются начальные параметры работы системы. Далее осуществляется счёт текущего времени и разрешается работа устройства по приведённому ранее алгоритму. Цифровая часть принципиальной схемы устройства гальванически развязана с сетью и напряжением управления нагревателем и вентилятором +24 В. Как видно из схемы, аппаратные возможности микроконтроллера DD2 исчерпаны полностью. Программа на ассемблере и HEX-файл доступны для скачивания в дополнительных материалах к статье.

Применение терморегуляторов с контроллерами, которые разработаны под конкретную систему обогрева (охлаждения), позволяет минимизировать схему управления в локальной АСУ ТП.

Литература

1. Сайт представительства Transfer Multisort Elektronik. URL: <http://www.tme.pl>.
2. Официальный сайт компании «ОВЕН». URL: <http://www.owen.ru>.
3. Официальный сайт компании «Ольмакс». URL: <http://www.olmax.ru>.
4. Официальный сайт научно-производственной фирмы «Контрафт». URL: <http://www.contravt.ru>.
5. Официальный сайт «Термодат». URL: <http://www.termodat.ru>.



НОВОСТИ МИРА

Правительство РФ заказало 32-ядерный процессор «Эльбрус-32С» для суперкомпьютеров

В правительстве РФ озаботились высокопроизводительной обработкой и хранением больших массивов информации. Для выполнения подобных задач, напрямую связанных с кибербезопасностью, обороноспособностью и развитием высокотехнологичной страны, необходимы суперкомпьютеры, созданные на отечественной элементной базе.

Минпромторг России разместил на сайте госзакупок большое количество заявок на проведение опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ. Первая ОКР называется «Разработка микропроцессора

«Эльбрус-32С» для высокопроизводительных серверов», шифр «Процессор-21(СРВ)». Стоимость работ оценена в почти 7,49 млрд руб.

Разработка универсального 32-ядерного микропроцессора, способного работать при температуре от –60 до +90°C, должна быть завершена к 2025 году. Он должен стать фундаментом для большого количества различных вычислительных комплексов и систем.

Одновременно с этим заказаны ОКР «Разработка СнК для встраиваемых вычислительных комплексов на базе процессорных ядер с архитектурой NeuroMatrix нового поколения», шифр «Нейро-Б». Стоимость работ оценена почти в 7,632 млрд руб.

Кроме того, размещён заказ на ОКР «Разработка доверенного многоядерного процес-

сора для программных маршрутизаторов защищённых сетей», шифр «МАРКО-240». Стоимость работ – почти 6,002 млрд руб.

Также заказаны НИР «Исследование и разработка перспективных кремний-углеродных технологий и технологий гетерогенной интеграции с применением наноструктурированных материалов для создания элементов и приборов нового поколения», шифр «Прогресс». Стоимость работ – 2,89 млрд руб.

Имеется ОКР «Разработка и освоение в производстве комплекта доверенных микросхем и микромодулей специального назначения, а также средств обеспечения доверенности процесса их проектирования и изготовления», шифр «Доверие». Стоимость – 6,690 млрд руб.

<https://russianelectronics.ru>



EXPO ELECTRONICA

23-я Международная выставка
электронных компонентов, модулей
и комплектующих

expoelectronica.ru



ELECTRON TECHEXPO

18-я Международная выставка
технологий, оборудования и материалов
для производства изделий электронной
и электротехнической промышленности

electrontechexpo.ru

13–15 апреля 2021

Москва, Крокус Экспо

Получите Ваш
бесплатный билет
по промокоду **ee21print**



Реклама

0+



Hyve

Цифровой вольтметр с высоким разрешением

Часть 2. Программные средства

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

Статья посвящена цифровому вольтметру с разрешением 6 десятичных разрядов, на базе микроконтроллера EFM8LB12, оснащённого 14-разрядным SAR АЦП. Высокое разрешение прибора получено в результате использования известного метода передискретизации и осреднения, позволяющего существенно поднять разрешающую способность АЦП. В первой части были представлены принципиальные схемы устройств. Во второй части речь пойдёт о программных средствах.

Программа для вольтметра использует метод передискретизации и осреднения, подробно описанный в [1]. В результате получается 4-байтное целое беззнаковое (ulong) число, которое содержит результат аналого-цифрового преобразования. Помимо отличий, перечисленных ниже, настоящая программа имеет два дополнения, отсутствующих в программе [1]. Первое дополнение – подпрограмма вывода информации на ЖКИ. Об этом уже было подробно написано в первой части. Второе – процедура записи во флеш-память микроконтроллера и чтения из неё значения коэффициентов калибровки нуля и полной шкалы.

Отличия настоящей программы от программы, приведённой в [1], обусловлены следующими факторами:

1. ИОН выбран внешний с напряжением $V_{ref} = 3$ В (взамен внутреннего с напряжением 2,4 В);
2. выбран внутренний тактовый генератор с частотой 72 МГц (взамен внешнего той же частоты);
3. режим работы интерфейса SPI выбран 3-проводный (взамен 4-проводного), частота импульсов SCK выбрана около 400 кГц (взамен 12 МГц);
4. корпус микроконтроллера QFN24 (взамен QFN32).

Эти изменения касаются подпрограммы инициализации устройства (InitDevice.c). Поэтому вначале в среде Simplicity Studio следует выбрать опцию конфигулятора устройства, в котором выбрать микроконтроллер EFM8LB12F64E-A-QFN24. В общем меню

конфигуратора (см. рис. 8) потребуется настройка следующих опций: Voltage Reference, ADC0, Clock Control, HFOSC 0/1 и SPI0. Эти опции обведены красными овалами. Все остальные настройки такие же, что и в программе [1], их также следует настроить, взяв за основу конфигурационный файл EFM8LB1_ADC_Lib_Autoscan_Large_Buffer.hwconf.

Сначала следует выбрать опцию Voltage Reference и в свойствах выбрать внешний ИОН напряжением 3 В (см. рис. 9а). Затем следует выбрать опцию ADC0 и в свойствах указать, что используется вход VREF, аналоговая «земля» подключена к порту P0.1, а входной аналоговый сигнал следует подавать на порт P0.2 (см. рис. 9б).

Далее следует выбрать опцию HFOSC 0/1 и в свойствах выбрать внутренний генератор 72 МГц (см. рис. 10а). Затем выбрать опцию Clock Control и в свойствах выбрать источник тактирования как внутренний высокочастотный генератор и делитель SYSClk/1 (см. рис. 10б).

Далее выбрать опцию SPI 0 и в свойствах выбрать режим Master, Clock Phase и Clock Polarity и установить делитель частоты равным 90, который соответствует частоте 395,604 кГц (см. рис. 11).

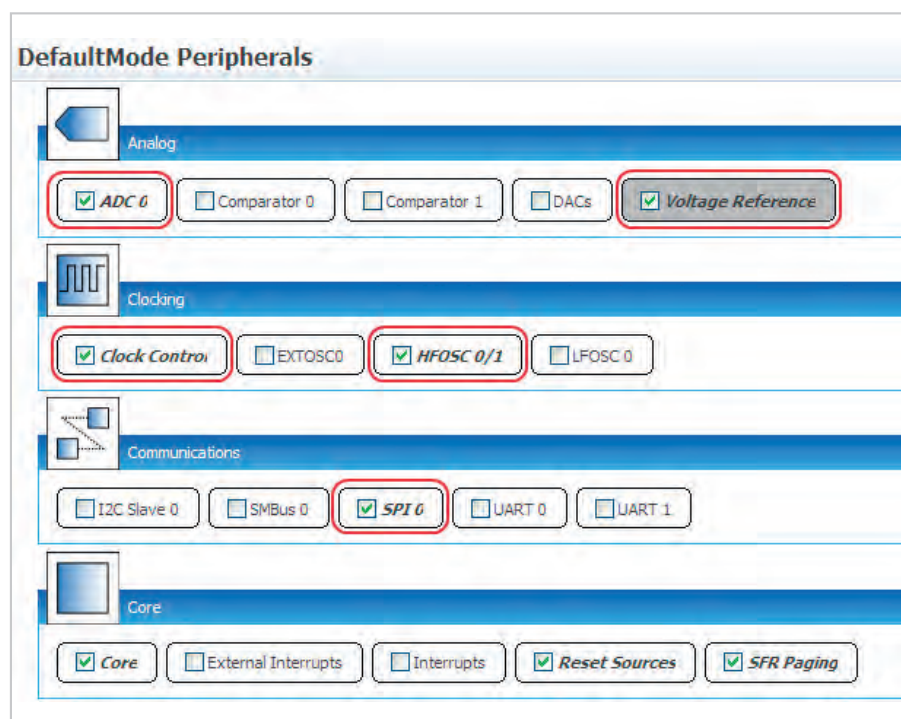


Рис. 8. Общее меню настроек конфигулятора

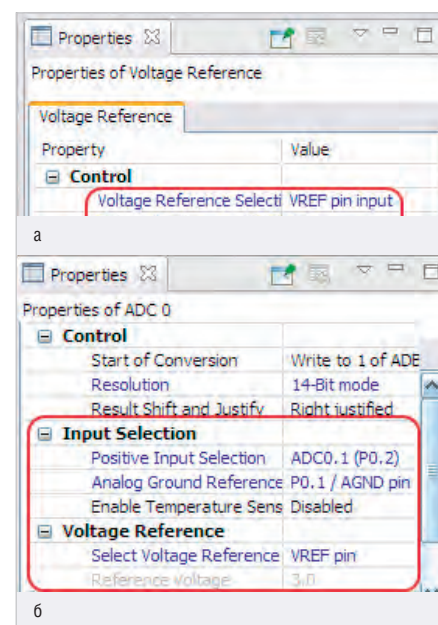


Рис. 9. Настройка опорного напряжения V_{ref} : выбор внешнего V_{ref} (а), установка порта входа АЦП (P0.2), аналоговой «земли» (P0.1) и внешнего ИОН V_{ref} (б)

Далее, открыв файл EFM8LB12F64E-A-QFN24.hwconf, увидим картинку с портами микроконтроллера EFM8LB12F64E-A-QFN24. С помощью команд Skip необходимо придать портам микроконтроллера вид, представленный на рисунке 12.

Порты P1.2 и P1.3 необходимо настроить как цифровые выходы (см. рис. 13а), а порты P0.3, P1.5 и P1.6 – как цифровые входы со слаботочными подтяжками (см. рис. 13б).

Далее следует заменить исходный конфигурационный файл созданным файлом EFM8LB12F64E-A-QFN24.hwconf, который и будет использован при автоматическом создании файла инициализации устройства InitDevice.c. Для этого следует скопировать созданную конфигурацию EFM8LB12F64E-A-QFN24.hwconf, вставить её рядом с исходной EFM8LB1_ADC_Lib_Autoscan_Large_Buffer.hwconf и удалить исходную. К счастью, среда Simplicity Studio допускает такие операции над «деревом» программы.

После этого необходимо сменить модель памяти со Small на Large. Для этого в проекте выбрать опцию Properties, в меню выбрать опцию Setting, как показано на рисунке 14а, затем выбрать модель Large (см. рис. 14б). После этого нажать кнопки Apply и OK.

Рассмотрим процедуру записи и чтения коэффициентов, полученных в результате калибровки нуля и полной шкалы (см. далее), во флеш-памяти. Для этого была использована готовая программа, приведённая в Simplicity Studio в качестве примера и предназначенная для микроконтроллера EFM8LB1 (EFM8LB1_Flash). В этом примере используется основной файл EFM8LB1_Flash.c и 4 дополнительных: EFM8LB1_FlashPrimitives.h, EFM8LB1_FlashUtils.h, EFM8LB1_FlashPrimitives.c, EFM8LB1_FlashUtils.c. В файле EFM8LB1_FlashUtils.c имеется несколько подпрограмм, из которых было оставлено только две: запись в память (FLASH_Write) и чтение (FLASH_Read). Подпрограмма EFM8LB1_FlashPrimitives.c

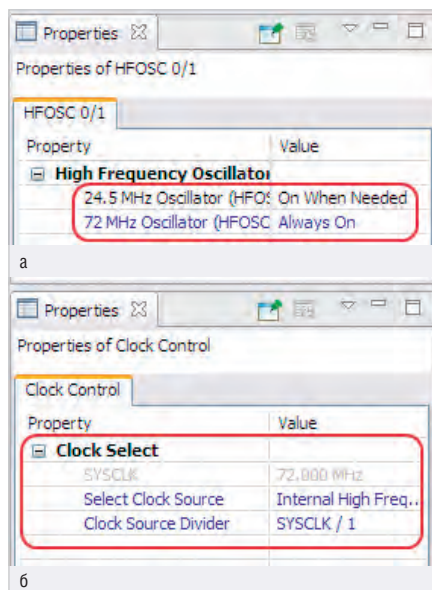


Рис. 10. Установка внутреннего генератора 72 МГц для тактирования микроконтроллера: включение внутреннего генератора в работу (а), установка источника тактирования от внутреннего генератора (б)

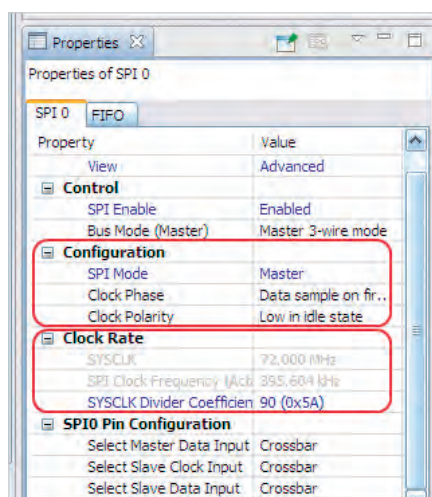


Рис. 11. Настройка интерфейса SPI в 3-проводном режиме master и выбор коэффициента делителя (90) для установки частоты импульсов SCK 395,604 кГц

использована полностью (в ней как раз приведена подпрограмма стирания страницы памяти объемом 512 байт – FLASH_PageErase).

Подпрограммы FLASH_Write и FLASH_Read предназначены для записи во

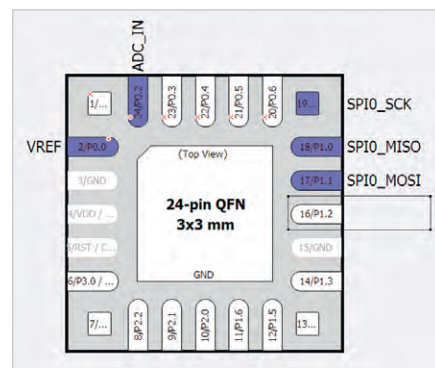


Рис. 12. Общий вид портов микроконтроллера в корпусе QFN24

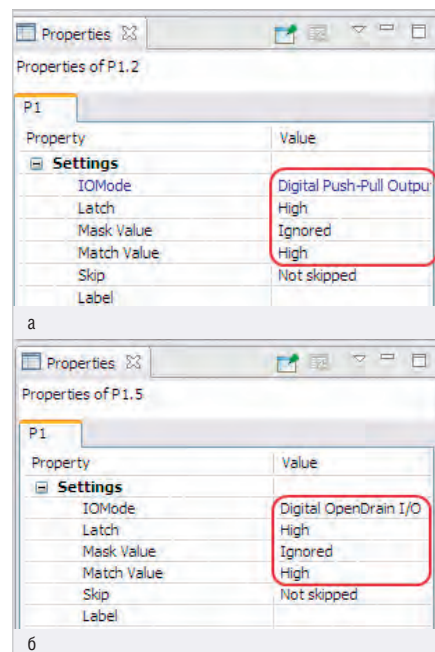


Рис. 13. Настройка портов вывода сигналов CSML и CSST (а) и ввода сигналов CAL0, CAL1 и DIAP (б)

флеш-память и чтения из неё массива однобайтовых чисел. Но коэффициенты, полученные в результате калибровки нуля и полной шкалы, являются числами с плавающей запятой. Поэтому записать напрямую в память эти коэффициенты, пользуясь подпрограммами FLASH_Write и FLASH_Read, невозможно, т.к. число с плавающей запятой занимает 4 байта. Однако если использовать совмещение (в нотации C++ «union» – объединение) массива размерностью

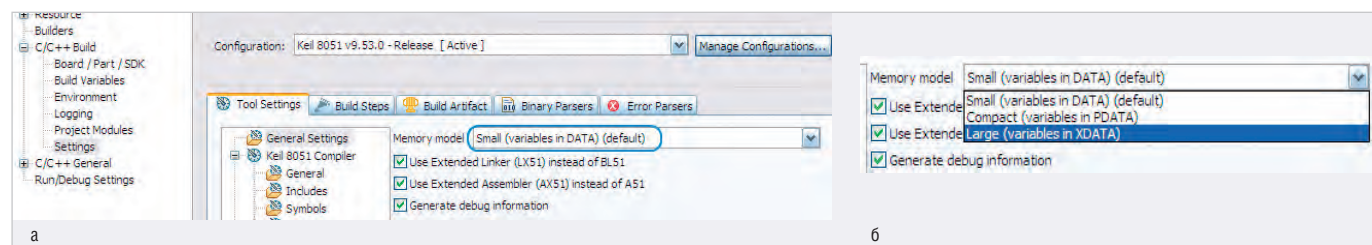


Рис. 14. Замена модели памяти со Small (а) на Large (б) для получения доступа к функции sprintf(), работающей с числами с плавающей запятой

Листинг 1

```

//-----
union { // KWR.F - 4-х байтное float число - коэффициент К для записи.
  unsigned char B[4]; // KWR.B[0]- Самый ст.б.
  float F;           // KWR.B[1]- Ст.б.
}KWR;                // KWR.B[2]- Ср.б.
                    // KWR.B[3]- Мл.б.
//-----
union { // KRD.F - 4-х байтное float число - коэффициент К для чтения.
  unsigned char B[4]; // KRD.B[0]- Самый ст.б.
  float F;           // KRD.B[1]- Ст.б.
}KRD;                // KRD.B[2]- Ср.б.
                    // KRD.B[3]- Мл.б.
//-----

```

Листинг 2

```

//-----
// Global Variables
//-----
SI_LOCATED_VARIABLE_NO_INIT(flash_write_array[512], uint8_t, const
SI_SEG_CODE, START_ADDRESS_B);
SI_LOCATED_VARIABLE_NO_INIT(flash_write_array1[512], uint8_t, const
SI_SEG_CODE, START_ADDRESS_K);
SI_LOCATED_VARIABLE_NO_INIT(flash_write_array2[512], uint8_t, const
SI_SEG_CODE, START_ADDRESS_P);
//-----

```

4 (например, B[4]) с числом с плавающей запятой (например, F), как показано в листинге 1, т.е. для записи использовать 4-байтный массив KWR.B, а для чтения – массив KRD.B, то эта проблема решается очень просто (см. листинг 1)

Здесь необходимо напомнить, что совмещение (union) двух разнотипных элементов (в данном случае – 4-байтного числа с плавающей запятой и 4-х байтного массива) означает, что эти элементы занимают один и тот же участок в памяти. Причём в этом случае число с плавающей запятой может быть полностью восстановлено по значениям массива и наоборот.

Пользуясь вышеописанными подпрограммами, перед записью 4-х байтного массива в память требуется очистить для них место (т.е. стереть как минимум 4 байта, начиная с того адреса, с которого будет производиться запись). Однако, как это ни странно, стереть 4 байта нельзя, а вот стереть целую страницу памяти размером 512 байт можно. Для этого используется подпрограмма стирания страницы памяти (FLASH_PageErase). Но при калибровке нуля и полной шкалы используются два разных коэффициента, причём при калибровке полной шкалы используется коэффициент, полученный при калибровке нуля. Поэтому адреса, по которым записываются эти коэффициенты, должны отличаться между собой по крайней мере на 512 байт, иначе,

например при калибровке полной шкалы, можно стереть записанный в память коэффициент калибровки нуля (при использовании стирания страницы памяти FLASH_PageErase).

Необходимо отметить, что программы под общим названием EFM8LB1_Flash работают при частоте внутреннего генератора 24,5 МГц (HFOSC0). Кроме того, в справочном листке на микроконтроллер EFM8LB12 приведено время записи и стирания страницы памяти при условии работы микроконтроллера также при частоте 24,5 МГц. Но настоящая программа вольтметра использует внутренний генератор частотой 72 МГц (HFOSC1, см. рис. 10). Будет ли работать запись во флеш-память и чтение из неё на частоте 72 МГц? Для этого можно попробовать установить настройку времени чтения флеш-памяти (Flash Read Timing) в состояние «SYSCLK is below 75 MHz», т.е. чтобы системная тактовая частота была меньше 75 МГц. Этот параметр задаётся в основном меню, в разделе Core (см. рис. 8). В качестве проверки работоспособности такого подхода можно взять число с плавающей запятой, например 1,23456, записать его в память, затем прочитать и вывести на дисплей. Такой эксперимент был проведён, и он полностью подтвердил, что запись во флеш-память и чтение из неё на частоте 72 МГц работают безупречно.

В связи с этим адрес массива для записи/чтения коэффициента калибровки нуля выбран 1A00h (6656₁₀), адрес массива для записи/чтения коэффициента калибровки полной шкалы выбран (как в примере EFM8LB1_Flash) 1600h (5632₁₀), разница между ними составляет 6656 - 5632 = 1024, что значительно больше 512 байт. Адрес числа с плавающей запятой для тестирования правильности записи/чтения выбран 1200h (4608₁₀), он на 1024 байт меньше адреса 1600h:

```

#define START_ADDRESS_B 0x1A00 //
для кал. 0
#define START_ADDRESS_K 0x1600 //
для кал. 1
#define START_ADDRESS_P 0x1200 //
для проверки

```

Для работы подпрограмм требуется завести три глобальные переменные, использующие вышеуказанные адреса (START_ADDRESS_B, START_ADDRESS_K и START_ADDRESS_P) (см. листинг 2).

После этого для записи во флеш-память, например, коэффициента калибровки полной шкалы необходимо использовать следующие два оператора:

```

FLASH_PageErase(START_
ADDRESS_K); //Стирание страницы
флеш-памяти 512 байт.
FLASH_Write(START_ADDRESS_K,
KWR.B, sizeof(KWR.B)); //Запись
KWR.F во флеш-память.

```

Для чтения – оператор:

```

FLASH_Read(KRD.B, START_
ADDRESS_K, sizeof(KRD.B));
//Чтение KRD.F из флеш-памяти.

```

Аналогично в программе используется запись и чтение коэффициента калибровки нуля (это числа соответственно BWR.B и BRD.B), а также запись и чтение проверочного числа (PWR.F и PRD.F).

Текст основной программы для вольтметра и все дополнительные файлы, требующиеся для её работы, а также оттранслированная и готовая к загрузке программа в hex-формате приведены в дополнительных материалах к статье.

Запрограммировать микроконтроллер EFM8LB12, как указывалось выше, можно двумя способами.

По интерфейсу C2 с помощью USB-DEBUG адаптера. Для этого потребуется изготовить кабель, который одним концом подключается к выходному разъёму USB-DEBUG адаптера, а на втором его конце распаян 3-контактный разъём, на который выведены сигналы интерфейса C2: RST/C2CK, C2D и «земля». Схему такого кабеля можно найти

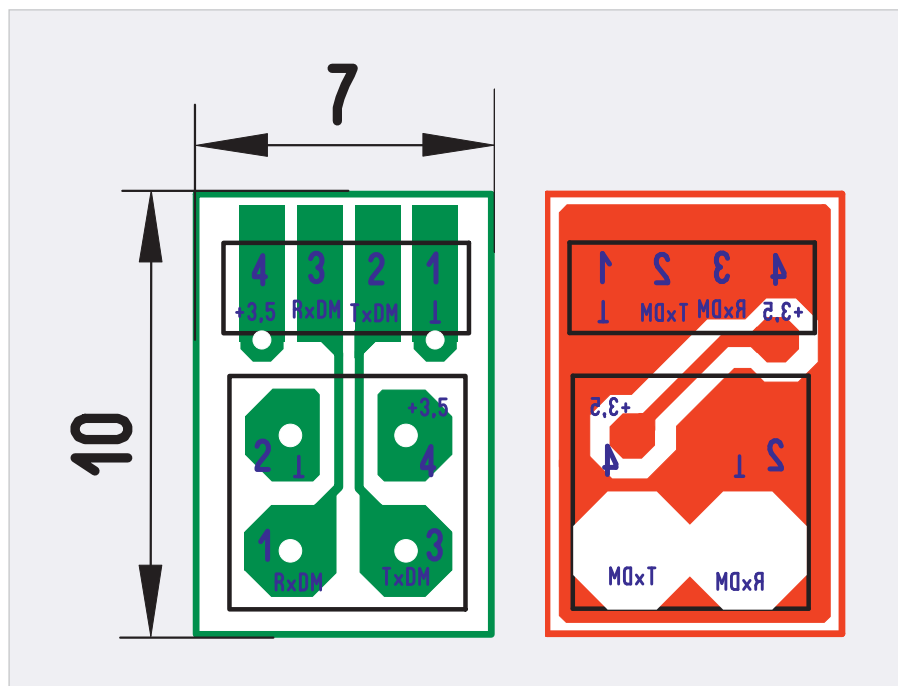


Рис. 15. Разводка платы-переходника для программирования микроконтроллера по интерфейсу RS-232

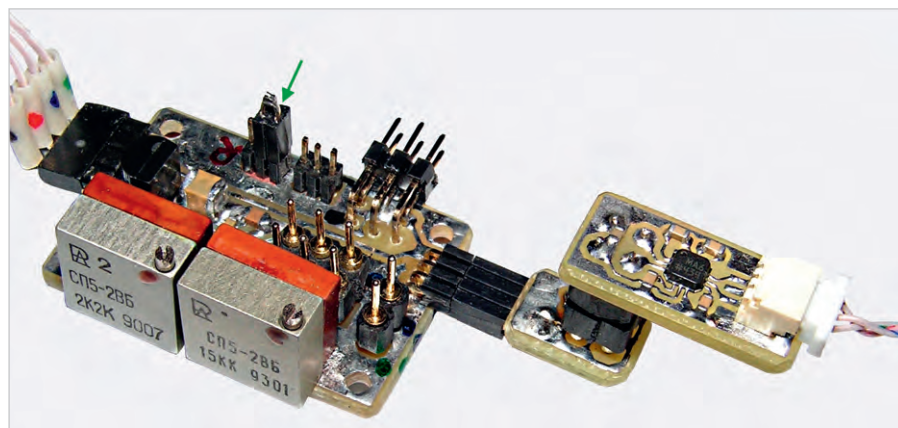


Рис. 16. Подключение микроконтроллера EFM8LB12 для программирования по интерфейсу RS-232 на плате вольтметра

в [1, 3]. На схемах на рисунках 1 и 4 для программирования по интерфейсу C2 предусматривен разъём XB.

Второй способ заключается в программировании по интерфейсу RS-232 через COM-порт компьютера. Для этого потребуется изготовить одноканальный преобразователь уровней интерфейса RS-232 в TTL-уровни. Схему и разводку платы такого преобразователя можно найти в [3, 4]. Кроме того, потребуется изготовить плату-переходник (см. рис. 15), на одном конце которого расположен 4-контактный разъём PBS1.27-04 (4 гнезда с шагом 1,27 мм), а на втором – 4-контактный разъём PBDM-2*2 (4 цанговых гнезда с шагом 2,54 мм). Эта плата одним концом (разъёмом PBS1.27-04) подключается к разъёму XRS платы вольтметра (см. рис. 1, 4), а ко второму его концу

(к разъёму PBDM-2*2) подключается плата одноканального преобразователя уровней RS-232 в уровни TTL (его можно заметить в правом нижнем углу на рисунке 16). При программировании в этом режиме на контакты 1 и 2 разъёма XB (см. рис. 1, 4) необходимо надеть перемычку, т.е. заземлить сигнал C2D (на рисунке 16 эта перемычка показана зелёной стрелкой).

Программные средства для программирования по интерфейсу RS-232 всех микроконтроллеров EFM8, а также подробное описание работы с ними можно найти в [4].

В следующей части статьи будут представлены разводка, изготовление печатных плат и фотографии готового вольтметра.

Литература

1. Кузьминов А. Повышение разрешающей способности АЦП микроконтроллера EFM8LB12. Современная электроника. 2018. № 8, 9.
2. Кузьминов А. Преобразователь интерфейсов USB-SPI на базе нового 51-совместимого микроконтроллера EFM8UB1. Современная электроника. 2017. № 1 – 3.
3. Кузьминов А. Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. – М.: «Перо». 2018.
4. Кузьминов А. Программирование микроконтроллеров EFM8 с помощью встроенного загрузчика программ. Радио. 2018. № 12.



ХОРОШИЕ НОВОСТИ

специалисты отрасли рассказывают
о насущных проблемах,
глобальных и локальных тенденциях рынка,
делятся полезным опытом

СМОТРИТЕ НА КАНАЛЕ «СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»

О необходимости и возможности контроля наличия силового напряжения при работе СЭГП

Илья Струков (г. Ковров)

В статье показана необходимость контроля наличия и правильности чередования фаз силовой питающей сети при работе следящего электрогидропривода (СЭГП). Представлены варианты схемотехнических решений, проведён анализ их недостатков в части использования для контроля силового напряжения и предложены оптимальные конструктивные решения.

В следящих электрогидравлических приводах (СЭГП) конечный исполнительный элемент состоит из связи: приводной асинхронный электродвигатель – гидронасос – гидромотор – нагрузка.

Для обеспечения работоспособности гидронасоса вращение его вала должно производиться в строго определённом направлении. Изменение направления вращения вала гидронасоса приводит к отказу системы в целом.

В ряде случаев в качестве приводного механизма для гидронасоса используется асинхронный трёхфазный электродвигатель, направление вращения которого определяется порядком чередования фаз подводимой питающей сети. При нарушении первоначально принятого порядка чередования фаз электродвигатель вращается в противоположную сторону, что приводит к нарушению работоспособности гидронасоса.

При отсутствии одной из фаз электродвигатель не запустится и будет находиться в режиме короткого замыкания, пока не сработает тепловая защита двигателя, если таковая имеется.

В уже работающем СЭГП обрыв одной из фаз питающей сети приведёт к перегрузке двигателя по току, а при последующей длительной работе – к срабатыванию тепловой защиты. Однако кратковременная работа в режиме перегрузки (на двух фазах) не вызовет серьёзных последствий. В то же время эта кратковременная работа в условиях перегрузки бывает иногда необходима по условиям выполнения задачи приводом, когда до окончания её выполнения остаётся незначительное время.

Для решения данной проблемы разработчики следящих систем вынуждены встраивать в СЭГП специальное устройство – определитель наличия и правильности чередования фаз силовой питающей сети. Функции такого определителя – блокировка запуска и работы приводного двигателя гидронасоса, работающего от трёхфазной сети переменного напряжения, неисправности сети питания, отсутствии одной или двух фаз или неправильном чередовании фаз питающей сети. Если неисправность обнаружена в процессе работы привода, формируется сигнал

о неисправности и происходит завершение работы системы согласно заданному алгоритму.

Данное устройство должно быть встроено в СЭГП и осуществлять свои функции на протяжении всего времени работы привода, т.е. продолжительное время (см. рис. 1).

Существует несколько вариантов схем, которые функционально в той или иной мере пытаются решить описанную выше задачу. Все эти известные схемы основываются на построении различного рода фазоуказателей. Схема одного из таких устройств приведена на рисунке 2.

После подключения зажимов XP1–XP3 к сети начинает работать трёхфазный мостовой выпрямитель на диодах VD1, VD3, VD4, VD6, VD7, VD9. Выпрямленное напряжение ограничено стабилитроном VD10 до 15 В, необходимых для питания микросхем и транзисторов прибора. Избыток напряжения гасят соединённые параллельно резисторы R7–R10. Рассеиваемая ими мощность близка к предельно допустимой, поэтому не рекомендуется длительное время держать прибор подключённым к сети. Конденсатор C1 сглаживающий. Светодиоды HL1–HL3, включённые последовательно с диодами VD1, VD4, VD7, сигнализируют о наличии напряжения в каждой из фаз.

На входы элементов DD1.1–DD1.3 через диоды VD2, VD5, VD8 и делители напряжения на резисторах R1–R6 поступает напряжение каждой из трёх

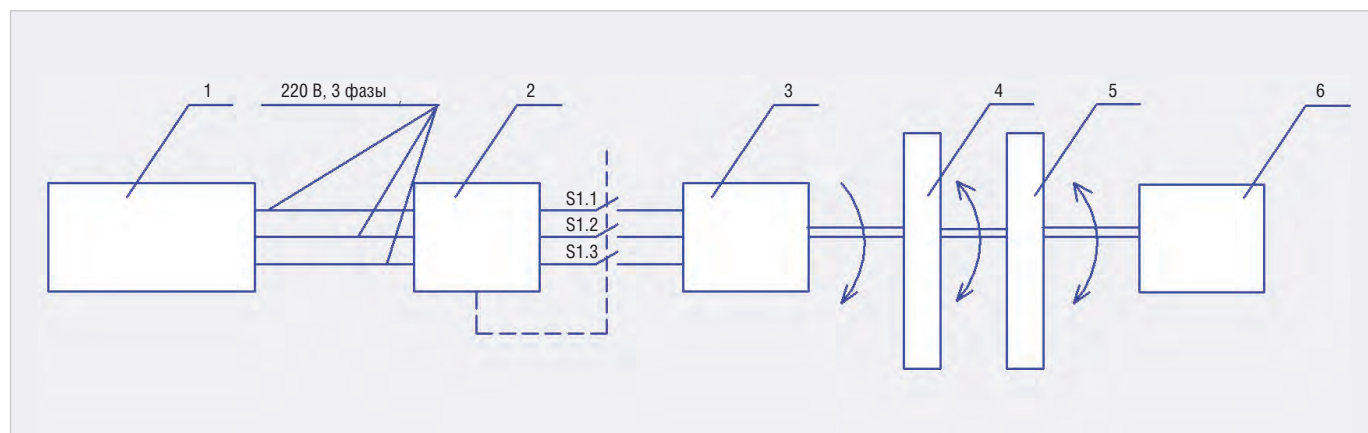


Рис. 1. Структурная схема подключения исполнительного механизма СЭГП и нагрузки к питающей сети: 1 – генератор трёхфазного силового электропитания, 2 – блок анализа качества силового электропитания, 3 – электродвигатель асинхронный, 4 – гидронасос, 5 – гидромотор, 6 – нагрузка

фаз. Номиналы резисторов выбраны таким образом, чтобы амплитудное значение напряжения на входе логического элемента немного превышало порог его переключения.

На рисунке 3 показаны временные диаграммы сигналов в различных точках схемы: слева – для «прямого» (А-В-С), справа – «для обратного» (А-В-С) порядка следования фаз. За фазу А условно принимают любую из трёх фаз сети.

Пока кнопка SB1 не нажата, прибор находится в исходном состоянии. Высокий логический уровень с выхода узла защиты от дребезга контактов кнопки на элементе DD1.4 поступает на вход S триггера DD2.1. Хотя на вход R этого триггера поступают импульсы с выхода элемента DD1.2, он остаётся в состоянии высокого уровня на выходе (вывод 2), так как вход S имеет приоритет.

Высокий логический уровень с выхода триггера DD2.1 на входы S триггеров DD2.2 и DD2.3, в свою очередь, удерживает последние в состоянии высокого уровня на выходах. Транзисторы VT1 и VT2 закрыты, светодиоды HL4 и HL5 погашены.

При нажатии на кнопку SB1 высокий логический уровень на выходе элемента DD1.4 и соединённом с ним входе S триггера DD2.1 запускает триггеры DD2.2 и DD2.3. Дальнейшее зависит от порядка следования фаз.

Если после разблокирования триггеров первым будет импульс на выходе элемента DD1.1 – изменит состояние триггер DD2.2. Транзистор VT1 будет открыт, а светодиод HL4 «А→В» – включён. Импульсы с выхода элемента DD1.3 на вход R триггера DD2.3 поступать не будут благодаря открывшемуся при низком логическом уровне на выходе триггера DD2.2 диоду VD12. Поэтому триггер DD2.3 сохранит состояние, соответствующее погашенному светодиоду HL5 «А→С». Такое положение останется неизменным до отпускания кнопки SB1, после чего прибор вновь перейдёт в исходное состояние.

Если за нажатием кнопки и переключением триггера DD2.1 первым последует импульс на выходе элемента DD1.3 – изменит состояние триггер DD2.3, а триггер DD2.2 останется в прежнем. Соответственно, светодиод HL5 будет включён, а HL4 – отключён.

На рисунке 4 приведена схема, построенная на микроконтроллере ATiny.

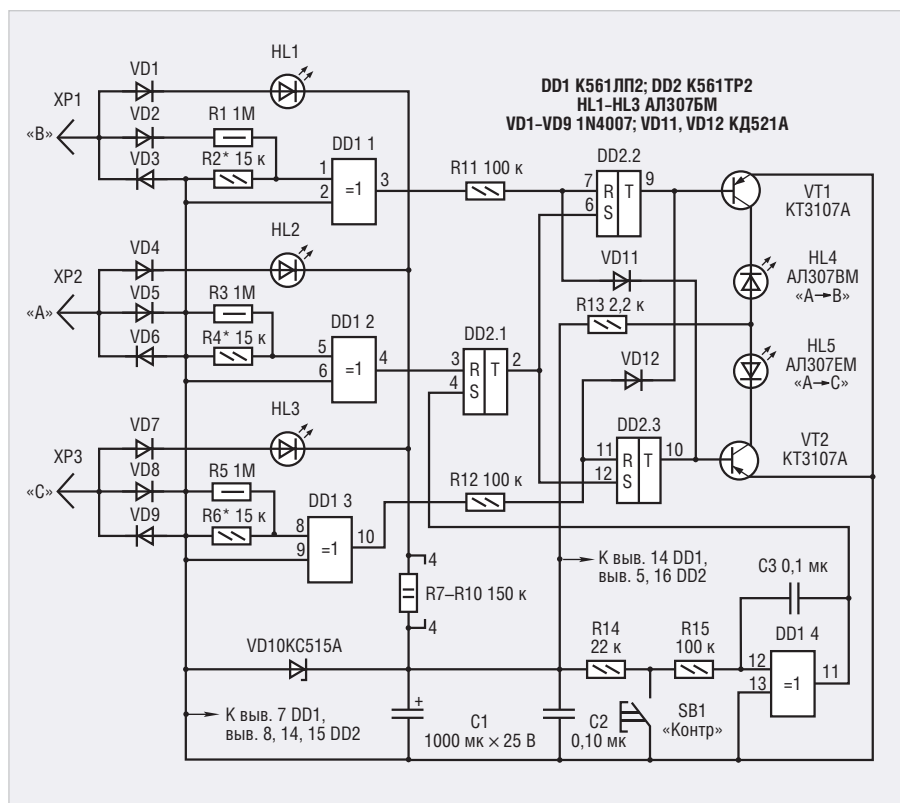


Рис. 2. Электрическая схема электронного определителя наличия фаз силовой сети

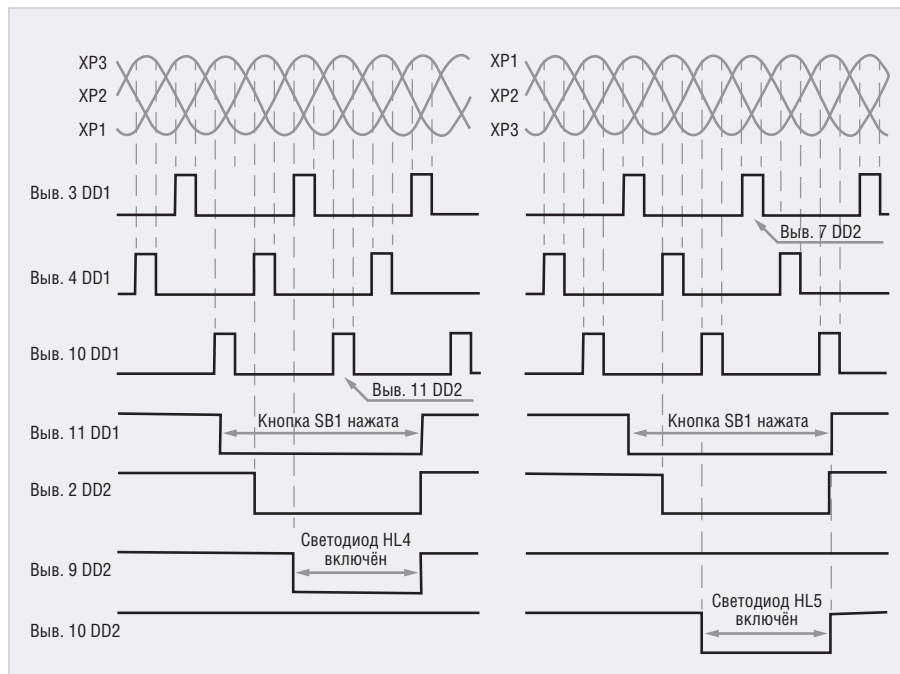


Рис. 3. Номограмма, иллюстрирующая работу схемы на рисунке 2

Программа микроконтроллера прежде всего проверяет наличие превышающего заданный порог напряжения фазы А на входе PB4 микроконтроллера. Обнаружив его, программа ожидает превышения порога напряжения фазы В на входе PB3 или фазы С на входе PB5. Если первым его превысило напряжение фазы В, то после фиксации превышения и фазой С подаётся команда на

включение светодиода HL5 и выключение светодиода HL4.

Аналогично, если первым превысило порог напряжение фазы С, то после фиксации превышения и фазой В подаётся команда на включение светодиода HL4 и выключение светодиода HL5. Затем цикл повторяется. Для защиты от сбоев в микроконтроллере активирован сторожевой таймер.

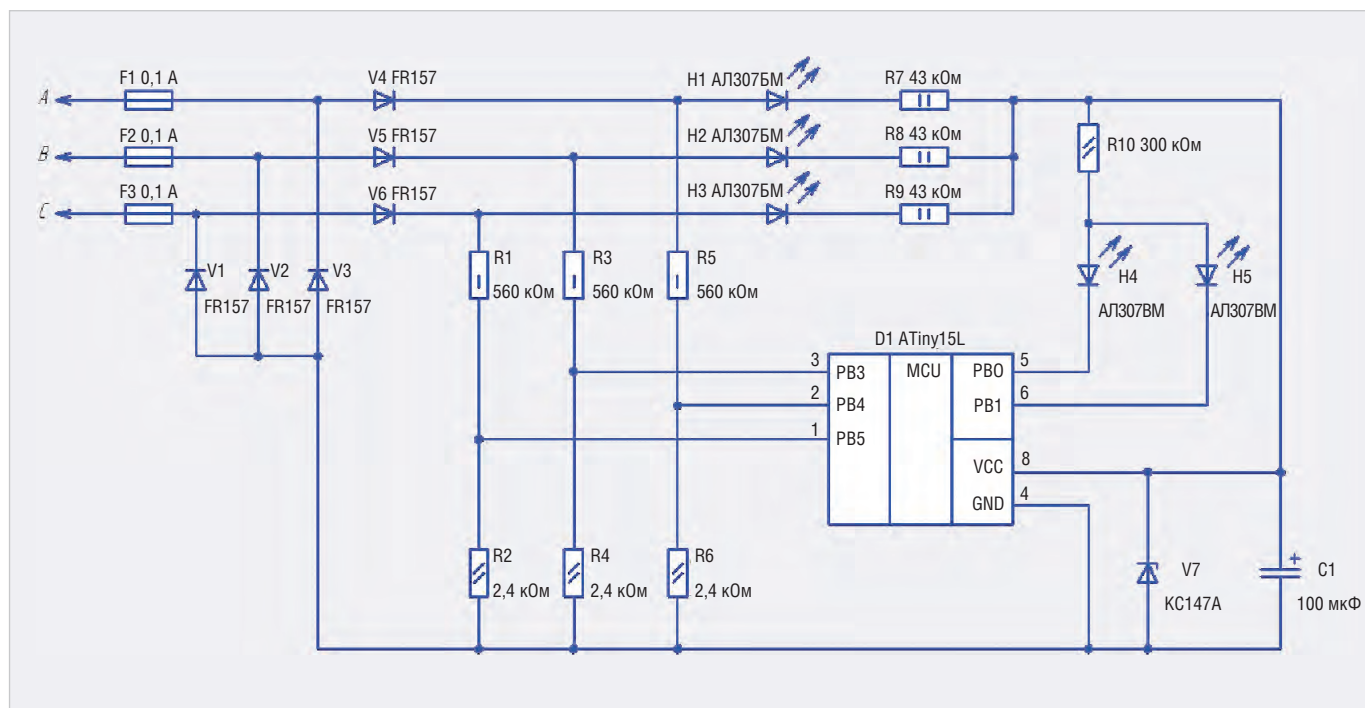


Рис. 4. Электрическая схема электронного определителя наличия фаз силовой сети на основе микроконтроллера ATiny

Обе приведённые схемы в принципе неплохи, но имеют ряд недостатков:

- схемы нельзя использовать в постоянно включённом, рабочем состоянии, т.к. происходит перегрев и выгорание резисторов, ограничивающих ток на светодиодах. Да и сами сигналы светодиодов нельзя обработать автоматически;
- при внезапном отключении (аварийном) питающего генератора данные схемы обнаружат пропадание силового напряжения только через 5...10 с. Проблема с аварийным отключением питания обусловлена следующим

физическим явлением. В установившемся режиме работы вал асинхронного электродвигателя с жёстко соединённой с ним через гидронасос и гидромотор нагрузкой раскручен до максимальной скорости. При внезапном (аварийном) отключении генератора сети в первоначальный момент времени происходит скачок нагружающего момента на валу электродвигателя. Электродвигатель по инерции продолжает движение и сам начинает выполнять функции генератора, вбрасывая накопленную энергию в сеть. При этом, несмотря на отключе-

ние основного генератора, напряжение в статоре электродвигателя в сторону уменьшения практически не меняется или изменяется очень мало.

С течением времени скорость вращения вала электродвигателя под воздействием возросшего момента нагрузки, тем не менее, падает. И только через 5...10 с под действием нагрузки вал электродвигателя теряет свою скорость до нуля, в статоре происходит резкое падение напряжения.

Графики, приведённые на рисунке 5, наглядно иллюстрируют этот физический процесс.

Рассмотренные ранее устройства обнаруживают отсутствие (провал) напряжения только на последнем этапе.

За 5...10 с «бесконтрольной» работы системы, при нештатных оборотах приводного электродвигателя и гидронасоса (после отключения основного генератора) происходит неуправляемое движение, что может привести к непредсказуемым последствиям. Особенно ярко это выражено при «попутной» работе нагрузки.

Поэтому в технических заданиях на разработку следящих приводов справедливо выдвигают требования по поведению нагрузки при аварийном снятии силового электропитания. Например, встречается такая формулировка: при пропадании питания допускается остаточный выбег нагрузки не более 2 град.

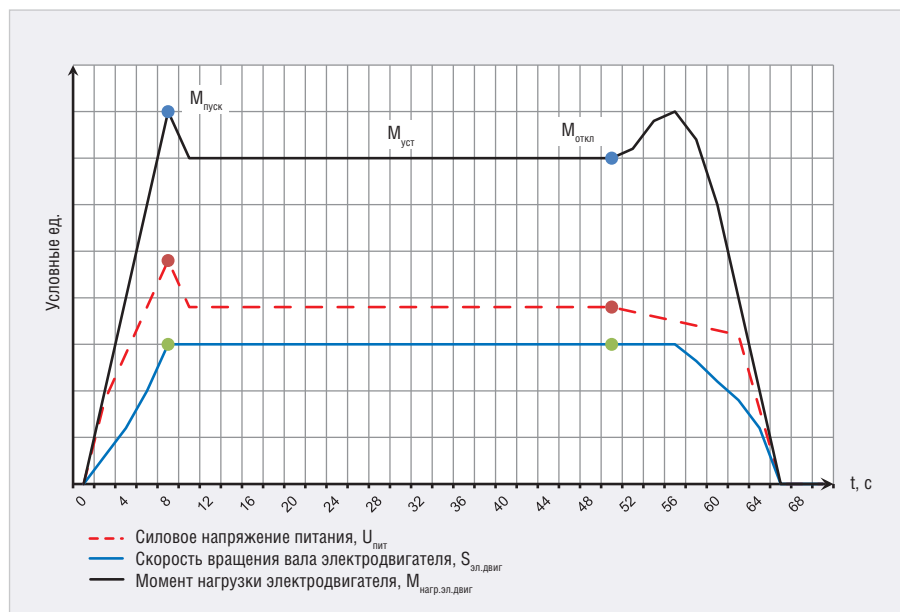


Рис. 5. График зависимостей $M_{\text{нагр.эл.двиг}} = f(t)$, $U_{\text{пит}} = f(t)$, $S_{\text{эл.двиг}} = f(t)$ в процессе работы СЗГП и при аварийном отключении силового питания

Рассмотренная далее схема (см. рис. 6) в полной мере отвечает упомянутым требованиям и лишена указанных недостатков.

Устройство включается в сеть не последовательно между основным генератором и электродвигателем, а параллельно. Так достигается минимизация влияния рабочих токов в проводниках на элементы схемы.

Схема может находиться во включённом состоянии сколь угодно долго.

Подключение 3-фазное с общей точкой, соответственно, междуфазное – 110 В (для 220 В, 3 фазы).

В данной статье полная работа схемы не рассматривается, она изложена в [2]. Остановимся лишь на построении и принципе работы «изюминки» данной схемы – преобразователя – формирователя напряжения.

Формирователь напряжения (см. рис. 7), которое далее обрабатывается схемой, выполнен в виде оптопары с нагрузочным резистором и гасящим конденсатором. Эти элементы – на каждую фазу.

Оптопары 7, 8 и 9 находятся на грани срабатывания – 10 мА (по ТУ на оптопары для уверенного срабатывания необходимо 15 мА, нагрузочные резисторы R1, R2, R3 – 7 кОм). Таким образом: $110 \text{ В} : 10 \text{ мА} = 110 \text{ (кОм)}$.

Падение напряжения на 2–3 В приводит к тому, что оптопара, находящаяся на грани срабатывания, закрывается из-за нехватки тока срабатывания.

Такой искусственно заниженный ток на оптопаре позволяет практически сразу увидеть падение (пропадание) силового напряжения с основного генератора (приводной электродвигатель в это время раскручен и начинает отдавать энергию в сеть) и, соответственно, выдать команду в систему о сложившейся ситуации.

Имеется возможность регулировки «чувствительности» схемы. Это делается опытным путём: подбором номиналов нагрузочных резисторов на фазах. Схема настраивается от практически мгновенного (доли секунд) срабатывания узла «преобразователь – формирователь напряжения» до длительной временной (5...20 с) задержки.

Мощность рассеивания резисторов берётся с запасом (порядка 4 Вт). На практике применяется набор из резисторов, одинаковых по номиналу и мощности. Например: $110 \text{ (кОм)} = 50 \text{ (кОм)} + 50 \text{ (кОм)}$. При примене-

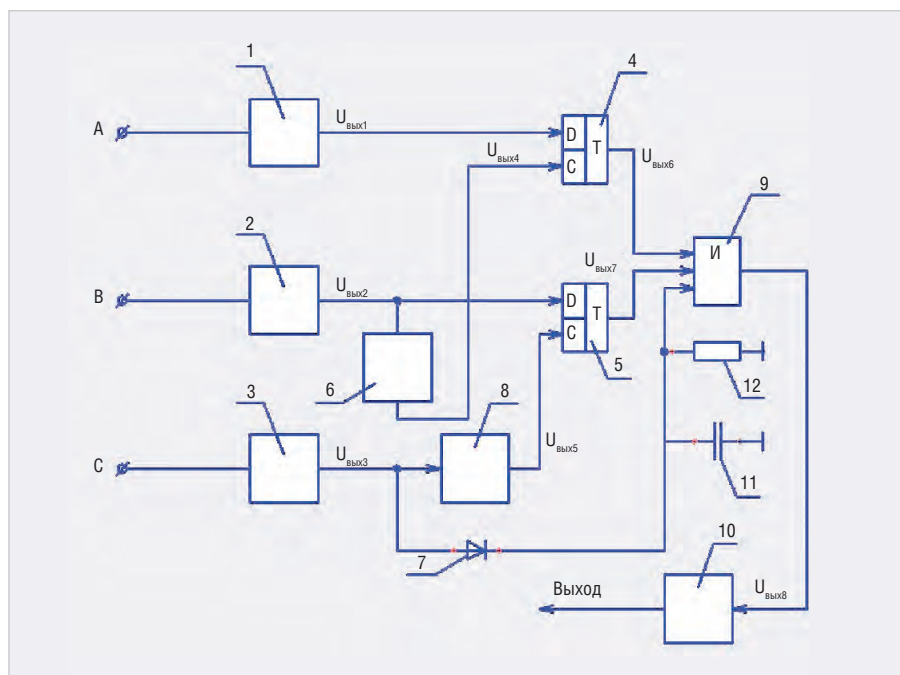


Рис. 6. Функциональная схема электронного определителя наличия и правильности чередования фаз силового питания: 1, 2, 3 – преобразователь-формирователь напряжения; 4, 5 – триггер; 6, 8 – импульсный формирователь; 7 – диод; 9 – элемент «И»; 10 – исполнительный орган; 11 – конденсатор; 12 – резистор

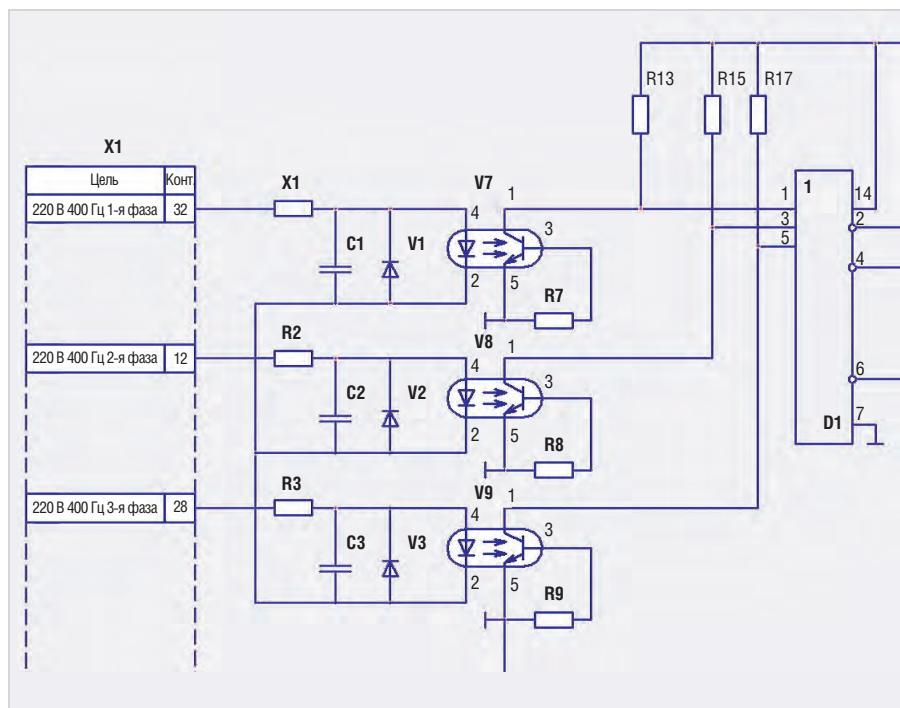


Рис. 7. Фрагмент электрической схемы, иллюстрирующий устройство формирователя напряжения

нии резисторов по 2 Вт общая мощность рассеивания для резисторов в данном примере составляет 4 Вт.

Как показывает практика, данная схема вполне работоспособна, причём длительное время – до суток непрерывной работы. Единственный её недостаток: она чувствительна к различного рода сбоям, выбросам, искажениям синусоидального

напряжения в работе основного генератора.

Возможно построение формирователя напряжения на других элементах, например датчиках тока или датчиках напряжения. При выборе параметров схемы необходимо помнить о рассмотренных ранее особенностях работы при аварийном отключении основного силового генератора.

Эксплуатационные данные твердотельных полупроводниковых реле типа МО26-XXX-12-МК фирмы АО «Электрум АВ»

Наименование реле	Максимальное пиковое напряжение на выходе в закрытом состоянии, $U_{\text{пик}}^*$, В	Коммутируемый ток, ср. кв. знач., $I_{\text{ср. кв.}}$, А		Коммутируемое напряжение, ср. кв. знач., $U_{\text{ср. кв.}}$, В		Коммутируемый импульсный ток, $I_{\text{имп}}^*$, А		Входное напряжение во включённом состоянии, $U_{\text{вх}}$, В		Входное напряжение в выключённом состоянии $U_{\text{выкл.}}$, В	Критическая скорость нарастания выходного		Диапазон рабочих температур, T , °C	Температура перехода, $T_{\text{пер}}$, °C
	не более	не менее	не более	не менее	не более	$t_{\text{имп}}$, мс	не менее	не более	не более	напряжения, dU/dt , В/мкс (не более)	тока, dI/dt , А/мкс (не более)	Не более		
МО26-25-12-МК	±1200	0,2	25	~30	~630	200	10	≈10	≈30	≈2	500	160	−40...+85	+125
МО26-40-12-МК			40			300								
МО26-63-12-МК			63			750								
МО26-80-12-МК			80			960								
МО26-100-12-МК			100			1250								
МО26-120-12-МК			120			1600								

Примечания:

* действующее значение $I_{\text{ком.имп}}$ не должно превышать $I_{\text{ком}}^*$;

** модули рассчитаны на работу в аппаратуре с применением охладителей, поддерживающих температуру перехода, не превышающую максимальную.

Сейчас появилось много приборов, представляющих собой законченные устройства определителя наличия фаз, например, представляют интерес разработки АО «Электрум АВ» (г. Орёл). Это предприятие специализируется на разработке и изготовлении твердотельных и оптоэлектронных гальванически развязанных реле.

Твердотельное реле переменного тока типа МО26-XXX-12-МК (см. табл.) предназначено [1] для плавной подачи трёхфазного напряжения в нагрузку и аварийного отключения потребителей при пропадании одной из питающих фаз и возникновении внешнего сигнала аварии.

После подачи управляющего напряжения микроконтроллерная схема управления определяет очерёдность подключённой трёхфазной сети. Это необходимо для организации правильной последовательности управления силовыми ключами (тиристорами). Также схема управления проверяет наличие всех трёх

силовых питающих фаз, и при отсутствии хотя бы одной происходит аварийная блокировка работы твердотельного реле.

Для наглядного отображения состояния и оперативного изменения настроек и управления твердотельное реле МО26-XXX-12-МК имеет возможность посредством интерфейса RS-485 общаться с управляющей программой. Прежде чем запускать управляющую программу, необходимо подключить к разъёму управления преобразователь интерфейса. При отладке программы использовался преобразователь RS-485/USB, тип изделия C2000-USB.

Аварийные ситуации, при которых происходит выключение твердотельного реле: перегрев силовых ключей (тириستоров); присутствие сигнала от внешних цепей управления на входе «Авария внешняя»; пропадание одной из питающих фаз.

Подводя итоги вышеизложенного, совершенно очевидна необходимость постоянного контроля наличия

и правильности чередования фаз силовой сети в СЭПП. Конструктив такого устройства следует определять в том числе из требований технического задания в части электропитания и аварийных ситуаций.

Литература

1. Паспорт «Микропроцессорное устройство токовой защиты типа МПТ». МПТ20МК/МПТ200МК – Изм. 5. Изв. 200-16. Прот. № 10. Предл. № 274. АО «Электрум АВ». 2020 г.
2. Патент 38252 на полезную модель (МПК 7 Н 02 Н 3/24. РФ. «Устройство для непрерывного контроля наличия и правильности чередования фаз сети трёхфазного напряжения». Авторы: Аистов В. В., Климов В. С., Кропотов В. И., Струков И. В., Фомин Н. Н.) № 2003134803/20; зарег. 02.12.2003; опубл. 27.05.2004, бюл. № 15, 2003 г.
3. *Потачин И.* Определитель последовательности фаз. Радио. 2004. № 8.
4. *Пшеницын А.* Фазоуказатель. Радио. 2009. № 9.



НОВОСТИ МИРА

Россети ввели в эксплуатацию комплексы релейной защиты на процессорах «Эльбрус»

Группа «Россети» ввела в работу комплексы релейной защиты (РЗА) на базе процессора «Эльбрус» на подстанциях 220 кВ «Борская» и «Семёновская» в Нижегородской области. Об этом сообщил Telegram-канал группы.

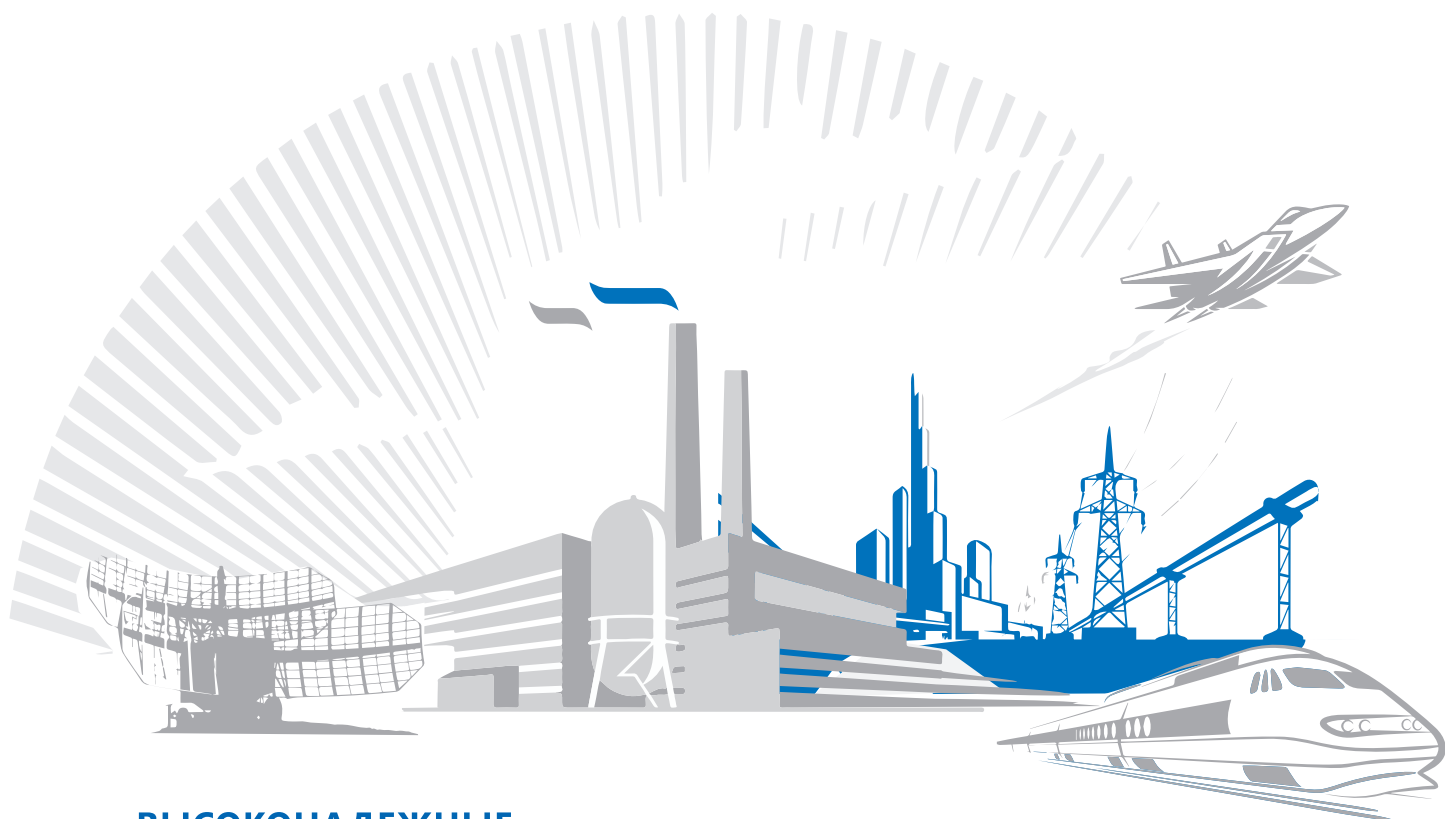
Оборудование разработано Научно-исследовательским предприятием обще-

го машиностроения (НИПОМ) и Институтом электронных управляющих машин им. И.С. Брука (ИНЭУМ им. И.С. Брука), который входит в Концерн «Автоматика» Госкорпорации Ростех.

«Использование процессоров «Эльбрус» позволяет комплексам РЗА соответствовать всем требованиям, предъявляемым для присвоения статуса оборудования российского происхождения. Повышается надёжность комплексов и их стойкость к информационным атакам, что крайне важно, когда речь

идёт об оборудовании одной из крупнейших в России и мире энергетической компании. Широкие компетенции концерна «Автоматика» позволяют удовлетворить потребности заказчиков в лице компаний, в том числе энергетической отрасли, а также государственных структур Российской Федерации в современном защищённом оборудовании высокого качества», – отмечает генеральный директор концерна «Автоматика» Владимир Кабанов.

<http://www.mcst.ru>



ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Серия HWS, HWS-A

- AC/DC-источники питания мощностью от 15 до 1560 Вт
- Ограниченная пожизненная гарантия
- Диапазон рабочих температур $-40...+70^{\circ}\text{C}$, конформное покрытие платы (модификация HD)
- Широкий диапазон выходных напряжений: от 3,3 до 60 В
- Работа в режиме пиковой мощности 300% в течение 5 с (модификация P)



Серия PFE, PFH

- AC/DC-преобразователи на плату от 300 до 1008 Вт
- Вход: 85–265 В AC, регулируемый выход: 12, 24, 48, 51 В DC
- Защиты от перенапряжений, перегрузки, перегрева
- Диапазон рабочих температур подложки $-40...+100^{\circ}\text{C}$
- Цифровое управление, обратная связь, поддержка PMBus™



Серия CN-A

- DC/DC-преобразователи на плату от 30 до 200 Вт
- Повышенная устойчивость к вибрациям, рекомендован для железнодорожного транспорта
- Диапазон рабочих температур $-40...+100^{\circ}\text{C}$ на подложке без снижения мощности
- Вход: 60–160 В DC или 14,4–36 В DC, выход: 5–24 В DC
- 5 лет гарантии



Серия HQA/GQA

- DC/DC-преобразователи на плату мощностью 85 и 120 Вт
- Ударные перегрузки до 50g
- Диапазон рабочих температур $-55 (-40)...+115^{\circ}\text{C}$
- Широкий диапазон входных напряжений: 9–40 В и 18–40 В DC
- Выходные напряжения: 5, 12, 15, 24, 28, 48 В DC
- КПД до 91,5%



«Неуправляемые» боевые роботы и беспилотники

Светлой памяти зам. Главного Конструктора АО «Камов»
Николая Николаевича Емельянова, ставшего жертвой COVID-19

Алексей Галицын (a.a.galitsyn@gmail.com)

В статье рассмотрены основные требования, предъявляемые к радиочастотным (RF) технологиям для военных применений. Приведено описание российской C-UWB RF-технологии, обладающей такими качествами, как развед- и помехозащищённость, возможность использования RF-спектра на вторичной основе, принципиальная недоступность для кибератак, невосприимчивость к эффекту Доплера и эффекту «замирания радиосигнала» – технологии, перспективной для систем мобильной военной радиосвязи, систем дистанционного управления боевыми роботами, боевыми и разведывательными беспилотниками.

Статья публикуется в авторской редакции. Мнение редакции не всегда совпадает с позицией автора. Но редакция открыта для диалога и предоставляет специалистам возможность донести свои идеи до аудитории журнала. Специализированный журнал – это информационная площадка, на которой порой встречаются самые невероятные проявления творческой мысли. Орфография и пунктуация автора сохранены.

Введение

Россия – страна гигантских природных ресурсов, потерявшая свою полупроводниковую индустрию, спасти которую теперь может только чудо [1]. В ожидании этого чуда в России финансируются циклопические государственные проекты («Цифровая экономика», «Космонавтика» и т.п.) не имеющие под собой собственной реальной технологической основы в виде полупроводниковой элементной базы. При этом деньги на науку, исследования и разработки, в части полупроводниковой элементной базы, выделяются по остаточному принципу [2, 3]. Но даже эти скудные бюджетные средства зачастую вкладываются в создание оружия, смертоносного для собственной армии – например, в создание боевых радиокомплексов и систем без развед-, помехо-, крипто- и киберзащищённости.

Именно этой щекотливой теме, на примере очередного проекта, из серии «бесперспективных» [4, 5, 6, 7], уничтоженных Департаментом радиоэлектронной промышленности минпромторга РФ и посвящена настоящая статья.

Основные требования к боевым радиосистемам

Автор не берётся, не имеет права и не хочет давать оценку состоянию современных российских вооружений в плане их разведзащищённости (определения см. далее), возможности эффективного противостояния зарубежным средствам радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и в плане защиты информации. Но одно только то, что «величайшим российским достижением» за 2019 год [8] является оснащение

системой крипто-кодирования речи истребителя СУ-57, известного своей готовностью к «ярким» (в смысле его радио-яркости и очевидного отсутствия стелс-технологий) боевым полётам (в Индии), говорит о многом...

Специфика военной техники предъявляет жёсткие требования к радиоэлектронному оборудованию [9] в плане разведзащищённости, защиты информации и устойчивости против подавления каналов связи средствами РЭБ.

Теоретически расшифровать и подавить в эфире можно всё. Однако, для того чтобы подавить, надо знать, что, где, в каком диапазоне, когда и как подавлять. Эту информацию обеспечивает радиоразведка. Противостоять радиоразведке позволяет скрытность (разведзащищённость) радиоканала. Противостоять собственно подавлению радиосигнала позволяет помехоустойчивость радиосистемы.

Скрытность – способность канала сохранять в тайне факт передачи и смысл передаваемой информации. Скрытность определяется двумя факторами: разведзащищённостью и имитостойкостью.

Разведзащищённость – это энергетическая скрытность и скрытность структуры радиосигнала (факта работы канала), т.е. это скрытность радиосигнала по энергетике, частоте, времени, пространству.

Имитостойкость – это кодовая защита собственно передаваемой информации, обеспечивающая невозможность «прочитать» информацию даже после записи её на носитель.

Информация является информацией, а не «мусором» только тогда и толь-

ко для того, для кого она обладает актуальностью. Однако в боевых условиях актуальность зависит от времени предоставления информации. В связи с этим, важной характеристикой имитостойкости является уровень её криптоустойчивости.

Криптостойкость определяется минимальным временем, которое необходимо для расшифровки передаваемой информации любыми доступными способами.

Помехоустойчивость – это способность радиосистемы обеспечивать передачу информации с заданным качеством в условиях воздействия преднамеренных помех всех видов, т.е. способность противостоять всем мерам подавления.

Двумя этими категориями (скрытность + помехоустойчивость) определяется такое более общее понятие, как **помехозащищённость**.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: если отсутствует либо скрытность, либо помехоустойчивость, то речи о помехозащищённости не может быть априори. Такая аппаратура подавляется средствами РЭБ или огневыми средствами. Типичным примером является система «военной» радиосвязи «АЗАРТ», разработанная по заказу министерства обороны РФ зеленоградским предприятием «Ангстрем» за 1,1 млрд рублей, но впоследствии так и не принятая на вооружение.

Специфика военной радиосвязи

Независимо от способа реализации широкополосной радиосистемы её предельные скорости передачи опре-

деляются следствием из теоремы Найквиста-Шеннона-Котельникова и зависят от ширины используемого спектра радиочастот и соотношения сигнал/шум в демодуляторе (или корреляторе), согласно известной формуле:

$$C = W \log_2 (1 + P_c/P_{ш}),$$

где C – пропускная способность (б/с), W – ширина полосы канала (1/с), $P_c/P_{ш}$ – соотношение «сигнал-шум».

С точки зрения возможности применения в военной технике принципиальное значение скорее имеют изначально присущие радиочастотной технологии (т.е. способам модуляции, демодуляции и передачи радиосигнала) особые уникальные качества: помехоустойчивость, разведзащищённость, невосприимчивость к эффекту Доплера, к эффекту «замиранию» сигналов и т.п. При этом количественные показатели (в пределах теоремы Котельникова) обычно могут размениваться один на другой. Особенностью военной техники является то, что именно перечисленные ниже качественные характеристики радиочастотных технологий являются для неё более важными, чем количественные в силу следующих факторов:

- возможность интегральной реализации (это одновременно и себестоимость, и надёжность, и массогабаритные, и энергетические показатели);
- разведзащищённость (обуславливает возможность обнаружения и подавления противником в военных применениях);
- помехозащищённость (необходима для того, чтобы сама система не была выведена из строя внешними воздействиями);
- имитостойкость (важна, чтобы информация не была перехвачена);
- возможность работы на вторичной основе (это возможность работы в частотном диапазоне, уже используемом радиосистемами противника);
- возможность изменения диапазона (т.к. разные диапазоны имеют разные свойства и качество прохождения радиосигнала, разный уровень помех);
- невосприимчивость к эффекту Доплера (это важно для гиперзвуковых, аэрокосмических объектов и СВЧ-систем);
- невосприимчивость к эффекту «замирания сигнала» (важна для ослабления эффекта интерференции радиосигналов, переотражённых от плоских морских и наземных поверхностей);

- термостабильность эксплуатационных параметров (традиционное требование к военной технике);

- возможность, благодаря разведзащищённости, создания военных систем принципиально нового типа с новыми свойствами и новыми возможностями (это подавляющее преимущество в боевых действиях);

- технологичность, т.е. простота и дешевизна (что позволит устранить преступное дублирование радиокомплексов и систем в боевых изделиях).

Отсутствие у радиочастотной технологии хотя бы одного из этих качеств делает военную технику потенциально уязвимой, а саму технологию – принципиально непригодной для создания военной техники, тем более, если речь идёт о дорогостоящей интегральной реализации такой радиочастотной технологии.

Тем не менее, сплошь и рядом, разработчики стараются использовать свой гражданский опыт, а Заказчики, в определённых ситуациях – не обращать внимания на подобные «мелочи» даже при наличии альтернатив, отвечающих реальным боевым требованиям. Например, пресловутые радиосредства «Азарт», использующие метод быстрой перестройки рабочей частоты (ППРЧ), нельзя признать разведзащищёнными, что делает их в прямом смысле смертоносным для собственной Армии оружием и непригодными для создания новых современных систем вооружений, принципиальным требованием к которым (в эпоху высокоточного оружия) становится разведзащищённость.

В самом деле, для приёма «быстрой ППРЧ», используемой в системе «Азарт», сигналы в точке приёма на каждой из используемых частот должны иметь уровень радиосигнала принципиально выше уровня радио-фона местности. Это полностью демаскирует не только постоянно «светящуюся» базовую станцию, превращающуюся в идеальную мишень, но и каждый радиопередатчик, которому смертельно опасно работать постоянно, тогда как повышение активности работы передатчиков – это предвестник начала боевой операции. Принимая эти сигналы двумя узконаправленными антеннами, ориентированными в одном и том же направлении, а затем перемножая их, т.е. фактически в каждый конкретный момент времени умножая «скачущий» узкополосный радиосигнал сам на себя (только для совпадающих по частоте сигналов этих двух каналов!) и, тем самым перенося

результат перемножения совпадающих в данный момент по частоте сигналов в область нулевых частот и накапливая результат на нулевой частоте, мы будем видеть и пеленговать «быструю ППРЧ» каждого такого передатчика на поле боя не хуже, чем это делали в кино немецкие пеленгаторы времён Великой Отечественной Войны.

Кроме того, попытки повышать помехоустойчивость в системе «Азарт», передавая каждый бит информации последовательно на нескольких разных частотах – занятие само по себе неблагоприятное: чем больше частот – тем ниже, причём кратно, скорость передачи информации.

Ну а такая, принципиально присущая этой системе связи уязвимость, как её полное поражение элементарной сканирующей помехой, делает эту систему связи принципиально непригодной для боевых применений. Впрочем, польза от этой радиосистемы очевидна – в свободное от боев время бойцы могут с её помощью слушать передачи Центрального телевидения, рискуя жизнью.

С учётом вышеизложенного, нам хотелось бы рассказать широкой публике о российской C-UWB (Controlled Ultra Wide Band) RF-технологии беспроводной связи [10, 11, 12]. В аббревиатуре C-UWB буква «C» – от слова controlled, т.е. управляемый (полоса, диапазон, скорость), а UWB (Ultra Wide Band) – сверхширокополосный. Термин «сверхширокополосный» здесь применён по чисто историческим причинам, поскольку в момент создания технологии, т.е. ещё до «изобретения» американцами соответствующей классификации, в России все технологии с нестационарной несущей относились к категории сверхширокополосных, т.е. к UWB.

C-UWB RF-технология отвечает всем, перечисленным выше, военным требованиям и вполне могла бы стать базовой технологией для создания развед- и помехозащищённых, недоступных для кибератак, сетей радиосвязи, систем дистанционного управления российскими боевыми роботами и беспилотниками, а также стать основой для других боевых систем принципиально нового типа.

Краткое описание и особенности C-UWB RF-технологии

C-UWB RF-технология использует радиочастотный ресурс на вторичной основе, обеспечивает высочайшую

развед- и помехозащищённость, а также отсутствие необходимости централизованного частотного планирования радио-пространства (какое может быть частотное планирование среди вражеских радиосистем?), не требует организации жёсткой централизованной синхронизации при создании и работе радиосистем массового обслуживания. C-UWB RF-технология представляет собой развитие широкополосных шумоподобных технологий в соответствии с современными требованиями технологичности производства, интегральной реализации, минимизации себестоимости, существенного улучшения технических характеристик и конкурентоспособности.

Идея технологии заключается в нетрадиционном переходе от традиционных для широкополосных (с кодовым разделением каналов) систем связи, методов модуляции, основанных на изменении (в различных сочетаниях) амплитуды, частоты и фазы высокочастотного сигнала к некогерентной (энергетической) обработке широкополосных шумоподобных радиосигналов [4, 7, 10, 11, 12], которая допускает нелинейную обработку сигналов (новая, нелинейная радиотехника). То есть, если в традиционных широкополосных системах для расширения спектра используется модуляция амплитуды, фазы или частоты, либо и того, и другого, и третьего, вместе взятых, то в технологии C-UWB передача информации основана на модуляции мощности сложного шумоподобного сигнала и переходе к его некогерентной обработке. Это позволяет избавиться от промежуточных частот и гетеродинирования в классическом понимании этих терминов, а вместе с этим и от всех проблем, присущих супергетеродинным системам (зеркальный канал, интермодуляция, фликкер-эффект, утечка сигнала, фазовые шумы гетеродина, необходимость высокой линейности радио-тракта) и соответствующих элементов, которые весьма трудно интегрировать на кристалле.

Всё это позволяет качественно расширить динамический диапазон обрабатываемых сигналов, кардинально снижает требования к линейности и схемотехнике радиочастотного тракта, технологическим процессам производства, позволяет резко сократить аппаратные затраты на его реализа-

цию. Предлагаемый подход позволяет добиться предельного упрощения аналоговой части, а вопросы корреляционной обработки радиосигнала перенести на «низкую частоту», вследствие чего кардинально упрощается построение радиосистем на кристалле, причём открывается возможность создания на кристалле широкополосных цифровых приёмников даже без использования сложных, дорогостоящих и медленных цифровых сигнальных процессоров.

Особенностью C-UWB-технологии являются способы формирования сигнала в передатчике и его обработки в приёмнике. Рассмотрим основные принципы реализации C-UWB-системы.

Формирование радиосигнала

В качестве широкополосной несущей в рамках C-UWB RF-технологии может быть использован шумоподобный сигнал любого уровня сложности, любого вида и происхождения. Это может быть любой шум: «белый», «бледно-розовый», хаотический, «шум эфира» и т.п., то есть любой высокочастотный широкополосный шумовой сигнал. Выбором именно шумовой формы сигнала несущей, при соответствующих способах модуляции и синхронизации, обеспечивается главное – разведзащищённость радиосигнала в эфире и, соответственно, двойное назначение технологии.

В простейшем случае, можно взять случайный дискретно-частотно-модулированный сигнал (без «перескока» фаз) или линейно-частотно-модулированный (ЛЧМ) сигнал, имеющий полосовой спектр и перемножить его на высокочастотную псевдослучайную кодовую последовательность (ПСЦП) с периодом повторения в несколько лет, спектр которой имеет вид $(\sin(x)/x)^2$, что дополнительно расширяет полосу частот результирующего радиосигнала. В итоге будет сформирован результирующий сигнал, спектр которого, являясь результатом перемножения полосового спектра и спектра вида $(\sin(x)/x)^2$, теряет характерный колоколообразный вид и принимает более равномерную, практически прямоугольную форму.

Таким образом структура C-UWB-сигнала полностью скрывается, представляя собой совершенно случайный (шумовой) сигнал с плоской формой спектра и без периодического повто-

рения мощности на любой конкретной частоте, как в основной полосе, так и на кратных гармониках (в отличие от систем CDMA – используемой в системе «Акведук»). В системах CDMA (и аналогичных) сигнал синхронизации, а также чётные гармоники широкополосного информационного сигнала являются узкополосными. Импульсы синхронизации полностью демаскируют CDMA-изделия. Пропустив CDMA-сигнал через нелинейный элемент и усилитель-ограничитель, легко выделить вторую гармонику и получить собственно информацию, «зашифрованную» известными методами. Основной спектр CDMA – линейчатый, что позволяет констатировать наличие факта передачи цифровой информации даже на слух и подавить его средствами РЭБ или огневыми средствами.

Передача информации в рамках предлагаемой технологии может быть реализована как на основе стационарной, так и на основе нестационарной несущей (это программируемая функция).

В случае *стационарной несущей* высокочастотный широкополосный шумовой сигнал модулируют в соответствии с передаваемой информацией, используя в качестве модулируемого параметра мощность радиочастотного сигнала, а в качестве модулирующего параметра – частотный параметр с частотой модуляции мощности $F_{\text{mod}} \ll \ll (F_1 - F_0)$, где $(F_1 - F_0)$ – частотная полоса приёмопередачи. Полученный сигнал *умножают аналоговым способом* на обеспечивающие кодовое разделение каналов псевдослучайные кодовые последовательности, формируемые идентичными в передатчике и приёмнике комплементарной пары, генераторами псевдослучайных кодовых последовательностей с использованием принципа кодового разделения каналов и принципа самосинхронизации.

Для *нестационарной несущей* широкополосный высокочастотный шумовой сигнал аналоговым способом, но по правилам логического умножения – посредством аналогового ключа, умножают на обеспечивающую кодовое разделение каналов псевдослучайную последовательность импульсов, которую генерируют генераторами псевдослучайных кодовых последовательностей и модулируют данные сигналы по мощности с частотой

модуляции мощности $F_{\text{mod}} \ll (F_1 - F_0)$, где $(F_1 - F_0)$ – частотная полоса приёма-передачи. В качестве модулирующих параметров используются позиционный или временной параметры изменения положения (или, соответственно, длительности) передаваемых импульсов относительно моментов их изменения, ожидаемых в отсутствие модуляции.

При этом в приёмниках демодуляции промодулированного по мощности полезного сигнала, полученного после выделения огибающей, для получения собственно информации, осуществляют анализируя корреляционным способом уровень рассогласования модулирующих параметров принимаемых импульсов и аналогичных параметров немодулированных последовательностей импульсов, специально для этого синхронно генерируемых в приёмнике.

Обработка радиосигнала. Синхронизация

Общая структурная схема C-UWB приёмника достаточно подробно описана в [4, 7, 10, 11]. При использовании в военных целях, её наиболее существенным отличием будет программируемая многорежимная система синхронизации, которая будет обеспечивать целый ряд как более простых (примитивных), так и более сложных (вплоть до крипто-функций) способов синхронизации помимо базового.

Базовый процесс синхронизации заключается в умножении широкополосной несущей (в зависимости от её типа – см. ранее) на обеспечивающие кодовое разделение каналов циклические псевдослучайные кодовые последовательности (ПСП), формируемые идентичными в передатчике и приёмнике, генераторами ПСП, стартующими с идентичных стартовых адресов (кодов, известных только взаимодействующим передатчику и приёмнику) для формирования, на основе этих кодов, каналов связи с использованием общеизвестного принципа *кодowego разделения каналов* и принципа *самосинхронизации*.

Принцип самосинхронизации основан на сдвиге в каждом новом цикле на такт во времени, формируемых на основе этих адресов, циклически повторяющихся адресных псевдослучайных кодовых последовательностей ограниченной длины в приёмнике,

до, констатируемого корреляционным методом, момента совпадения во времени этих циклических последовательностей с точно такими же, циклически повторяющимися, адресными ПСП передатчика и запуска с этого момента системы автоподстройки частоты синхронизации приёмника. Тем самым обеспечивается идентичность и синхронность генерации ПСП в передатчике и приёмнике взаимодействующих корреспондентов, необходимые для обеспечения кодового разделения каналов и осуществления демодуляции.

Обеспечение помехозащищённости и других важных для военной техники качеств C-UWB RF-технологии

В плане обеспечения помехозащищённости C-UWB RF-технология обеспечивает 4 уровня защиты радиоканала со следующими особенностями.

Разведзащищённость (1-й уровень защиты радиоканала). Источник C-UWB радиоизлучения (абонентский комплект) излучает широкополосный спектр радиосигнала с очень низкой радио-яркостью благодаря обеспечению низкой спектральной плотности мощности формируемого радиосигнала, который на расстоянии 100 м от передатчика имеет уровень ниже уровня радио-фона местности. Структура радиочастотного сигнала, используемого в рамках предлагаемой технологии достаточно подробно описана выше. Посылки радиоимпульсов, используемые в предлагаемой C-UWB RF-технологии имеют контролируемую ширину и прецизионное, формируемое электронными схемами, наполнение спектра шумоподобного сигнала (сложный сигнал), обеспечивая абсолютную управляемость параметрами сигнала: диапазон, ширина полосы и любую, наперёд заданную (вплоть до криптографического уровня), сложность структуры сигнала. При плоской форме спектра и полном отсутствии периодического повторения мощности как на любой конкретной частоте в полосе приёма, так и на кратных гармониках, это обеспечивает идеальную разведзащищённость создаваемых на её основе радиосистем.

Помехоустойчивость (2-й уровень защиты радиоканала). Если сравнивать помехоустойчивость предлагаемой C-UWB RF-технологии с

помехоустойчивостью существующих «шумоподобных» военных систем, таких, как, например система «Акведук», то описываемая технология при сравнимых показателях по помехоустойчивости в отношении широкополосных (полосовых) помех, будет иметь как минимум ещё и реальную разведзащищённость, и на два порядка более высокую помехозащищённость в отношении мощных узкополосных помех (включая сканирующие помехи), являющихся наиболее вероятными и наиболее опасными для систем радиосвязи подобного типа. Достигается это благодаря запатентованным способам помехоподавления, практически не применимым для других радиочастотных технологий.

Классические шумоподобные системы за счёт базы радиосигнала обеспечивают наивысшую помехозащищённость по сравнению с любыми другими классами систем радиосвязи. Тем не менее, попадание помех любого вида в приёмный радиотракт не только существенно ухудшает соотношение сигнал/шум и соответственно ухудшает все количественные характеристики систем шумоподобной радиосвязи (в соответствии с теоремой Шеннона-Котельникова), но легко может привести к превышению предельного соотношения сигнал/шум и полному выводу из строя даже шумоподобной системы связи. Поскольку широкополосные шумоподобные системы по своей природе (в этом суть механизма корреляции) восприимчивы не ко всем широкополосным помехам, а лишь к помехам с очень сходной структурой сигнала, да ещё и синхронизированным с работой приёмника, то такие специальные помехи действительно большой мощности, в большой полосе и на большом пространстве – исключительная редкость, даже в военное время. Наиболее реальный и опасный тип помех, критически влияющий на работоспособность систем широкополосной связи, это случайные мощные помехи от близко расположенных мощных узкополосных станций и преднамеренные сканирующие помехи, попавшие в полосу пропускания приёмника.

Для борьбы с мощными узкополосными помехами нами предложен ряд новых способов помехоподавления [12, 13]. Фантастическая простота, и деше-

визна этих способов заключается в удалении мощных узкополосных помех (включая сканирующие) из широкополосного спектра сигнала посредством обычной фильтрации. Причём, фильтрация осуществляется без применения сложнейших алгоритмов, да и вообще методов цифровой обработки сигналов (бессильных, кстати, в отношении сканирующих помех), или каких-либо сложных адаптивных или режекторных фильтров (тем более бессильных по отношению к сканирующим помехам) – что, казалось бы, невозможно.

Поясним как это осуществляется. На вход принимающего устройства поступает сигнал, равный векторной сумме напряжений полезного сигнала $U_{\text{сиг}}$ и узкополосной помехи $U_{\text{узк}}$. Этот смешанный сигнал поступает на вход полосового фильтра с полосой пропускания частот приёмника (F_1, F_2). Затем отфильтрованный сигнал, предварительно усиленный малошумящим усилителем, разделяют на два сигнала. При этом первый сигнал получают после усиления отфильтрованного в указанной полосе частот сигнала и ограничения его по амплитуде в усилителе-ограничителе. При прохождении сигнала с помехой через усилитель-ограничитель помеха подавит полезный сигнал и на его выходе остаётся лишь сигнал помехи нормированной величины $U_{\text{узк}}/|U_{\text{узк}}|$. В качестве второго сигнала используют упомянутый отфильтрованный сигнал или отфильтрованный сигнал, усиленный линейным усилителем. Полученные два сигнала подают на соответствующие входы блока умножения, который перемножает их. При этом в умножителе сигнал нормированной величины $U_{\text{узк}}/|U_{\text{узк}}|$, поступающий из канала с ограничением, начинает играть роль сигнала гетеродина для широкополосного сигнала в линейном канале. В результате такого перемножения сигнала помехи «самого на себя» на выходе умножителя сигнал помехи переносится в область нулевых частот и вырезается обычным низкочастотным фильтром, а спектр полезного информационного сигнала при этом автоматически конвертируется в область низких частот и используется для последующей «энергетической» корреляционной обработки на видеочастоте. При этом, имея в одном из каналов усиление-ограничение, мы не умножаем милливольты одного канала на милливольты другого и не получаем в результате микро-

вольты, а обеспечиваем нормальную (без потери усиления) работу умножителя и вполне приемлемый по амплитуде сигнал на выходе. То есть в данной системе отсутствуют потери усиления на преобразованиях радиочастотного сигнала, что существенно повышает качество, упрощает схемотехнику и улучшает стабильность работы радиосистемы в целом.

Главным в этом методе является то, что информация закладывается в изменение мощности сигнала и передаётся во всей полосе частот передачи (F_1, F_2), а при переносе спектра во время обработки в приёмнике переносится вместе со спектром. Определяющим фактором для данного способа подавления узкополосной помехи является частотная полоса спектра изменения мощности помехи, а не частотная полоса, занимаемая помехой в эфире. Это позволяет, не зная реального месторасположения помехи в спектре сигнала, «вырезать» из принимаемого широкополосного сигнала даже сканирующие (с любой скоростью и в пределах всей полосы пропускания приёмника) мощнейшие узкополосные помехи (с собственной шириной полосы до 20% от полосы пропускания приёмника). Причём (что уже действительно парадоксально), чем мощней (опасней) помеха, тем стабильнее работает система, а мощные узкополосные помехи, у которых модуляция мощности отсутствует вообще, не будут являться помехами для данной системы радиосвязи.

Как показали испытания, проведённые в ряде ведущих российских научных институтов, рассмотренные выше способы обеспечивают практически «бесплатное» повышение помехозащищённости широкополосной шумоподобной системы радиосвязи более чем на два порядка по сравнению с уровнем помехоподавления в системах CDMA («Акведук»), ZigBee и т.п.

Следует заметить, что описанные выше методы повышения помехозащищённости применимы только для систем на основе широкополосных радиосигналов, передача информации у которых построена на модуляции мощности широкополосного сигнала, и могут осуществляться процессорными методами цифровой обработки сигналов. Но, как говорится, «если не видно разницы – зачем платить больше»?

Криптозащита структуры радиосигнала (3-й, нетрадиционный, уро-

вень защиты радиоканала). C-UWB RF-технология представляет собой классическую криптографическую систему, но впервые реализованную не на уровне передачи информации, а на уровне формирования структуры радиочастотного сигнала [14], в которой генерация и корреляционная обработка сложных шумоподобных радиочастотных сигналов осуществляется на основе обмена между вступающими в контакт корреспондентами открытой ключевой информацией. Ключевая информация формируется с использованием любых криптографических алгоритмов (например, метода Диффи-Хелмана), обеспечивающих практически любую их криптографическую стойкость. Весь вопрос уровня криптозащиты созданного выделенного виртуального радиоканала между изделиями будет заключаться в следующем:

- какого типа шифроблок (алгоритм) будет использоваться для перекодирования открытой ключевой информации и получения идентичных закрытых кодов, необходимых для работы генераторов псевдослучайных кодовых последовательностей подсистемы каналаобразования;
- на основе обмена какой открытой ключевой информацией этим шифроблоком будет формироваться закрытая ключевая информация (сеансовые ключи) и в каком порядке, или по каким признакам (динамически) она будет синхронно изменяться в приёмнике и передатчике в процессе сеанса связи;
- какие именно методы генерации псевдослучайных кодовых последовательностей будут использоваться.

Такая система обеспечивает абсолютную информационную безопасность создаваемых беспроводных решений, поскольку вместо открытой (широковещательной) среды в эфире для каждого соединения создаётся по сути выделенный канал связи, представляющий собой криптосистему реального времени (подключение к которому и физическое прослушивание которого попросту невозможно). Это делает принципиально невозможным не только считывание, запись и последующую расшифровку информации, но и традиционные атаки, основанные на анализе и изменении сетевого трафика, являющиеся наиболее массовым видом атак в широковещательных сетях.

Для того чтобы обеспечить качество и эффективность процесса кодирования

ния было развито новейшее революционное направление криптографии – теория дискретной стохастической криптографии. Данная теория позволяет создавать динамические цифровые системы, называемые стохастическими системами дискретного времени. Оборудование, создаваемое на основе методов предложенной дискретной стохастической криптографии, обеспечивает при той же криптографической стойкости десятикратное уменьшение аппаратных затрат и, соответственно, стоимости, что чрезвычайно важно в интегральных радиочастотных системах. Обе инновации (стохастическая криптография и новый радиочастотный канал) находятся вне конкуренции на рынке специальной аппаратуры связи. Аппаратная реализация этих методов обеспечит уникальные характеристики создаваемого оборудования и позволит решить неразрешённые в настоящее время задачи, касающиеся безопасного беспроводного доступа и передачи конфиденциальной информации.

Криптозащита собственно информации (4-й традиционный уровень защиты). При построении более развитой системы связи с выходом в глобальные сети, безопасность информации уже будет зависеть не только от уровня защищённости самого радиоканала, но и от угроз, действующих во внешней сети. Однако, в этом случае решение задачи обеспечения криптографической защиты собственно информации, которая будет циркулировать в такой гибридной системе, по чисто экономическим причинам, ни по своей постановке, ни по способам решения, ничем не должна отличаться от решений, используемых в существующих военных и гражданских телекоммуникационных сетях (по крайней мере до «точки входа» в радиоканал). Классическим способом решения этой проблемы является организация VPN-соединения.

Эффект Доплера

Большинство RF-систем дальнего радиуса действия, относящихся к военному сектору применений, предполагают работу с мобильными объектами, поэтому, помимо высокого уровня разведзащищённости, информационной безопасности и помехозащищённости требуют некоторых весьма специфических качеств, связанных с мобильностью объектов. Это, в первую

очередь – требование невосприимчивости к воздействию эффекта Доплера, характерного для высокоскоростных (гиперзвуковых) мобильных объектов и сверхвысокочастотных каналов передачи. Сокращение влияния эффекта Доплера на несколько порядков по сравнению с любыми другими технологиями, в рамках C-UWB технологии осуществляется благодаря использованию некогерентной (энергетической) обработки шумоподобных сигналов и отказа от частотно-фазовых методов модуляции. Действительно, в предлагаемой C-UWB технологии весь приём и вся обработка высокочастотного сигнала, включая помехоподавление и переход на низкую частоту (для демодуляции) осуществляется без использования сигналов и каких-либо конкретных частот, вырабатываемых внутренними схемами приёмника (как, например, это имеет место в супергетеродинной аппаратуре). Потому каких-либо смещений фаз и изменения частот принимаемого высокочастотного сигнала, рассогласования фильтров, обусловленного доплеровским смещением частоты принимаемого сверхвысокочастотного сигнала, оборудованием C-UWB-приёмника наблюдаться не будет. Следовательно, при обработке высокочастотного сигнала не будет необходимости ни в специальной автоподстройке прецизионных внутренних генераторов частот и в подстройке фильтров, необходимых для компенсации воздействия эффекта Доплера на сам радиочастотный тракт. Процесс демодуляции (т.е. непосредственно процесс выделения информационной составляющей сигнала) осуществляется корреляционным способом уже на низкой частоте, без использования каких-либо свойств фазы и частоты самого высокочастотного сигнала. Вполне очевидно, что проявление влияния эффекта Доплера на низкочастотный сигнал, при его демодуляции, на несколько порядков слабее, чем его влияние на фазу и частоту высокочастотного радиосигнала. К тому же сам радиочастотный сигнал является широкополосным, а каждый бит передаётся сразу во всей полосе частот. Поэтому смещение всего сигнала из-за эффекта Доплера по полосе не окажет серьёзного влияния на информационную компоненту (определяемую модуляцией мощности на видеочастоте) и даже не потребует подстройки грубых полосовых фильтров, кото-

рыми задаётся полоса пропускания приёмника. Эти особенности C-UWB-технологии действительно позволяют избавиться от всей той сложнейшей техники, которая традиционно используется в узкополосных радиочастотных супергетеродинных системах для компенсации эффекта Доплера и которую весьма трудно интегрировать на кристалле. Всё это позволяет на порядки ослабить влияние эффекта Доплера на C-UWB-радиосистемы и кардинально упрощает интегральную реализацию высокоскоростных (гиперзвуковых) и сверхвысокочастотных мобильных военных систем, наиболее критичных к данному эффекту. В связи с этим можно утверждать, что C-UWB-технология ещё скажет своё слово в создании авиационных, спутниковых, гиперзвуковых ракетных и, связанных с ними, наземных комплексов и систем.

Эффект «замирания» сигнала

Одним из важных достоинств широкополосных и сверхширокополосных радиосистем, основанных на корреляционных принципах обработки радиосигнала, является снижение влияния эффекта интерференции прямо распространяющегося сигнала с сигналами, отражёнными от плоских морских и наземных поверхностей. Переотражения и последующая интерференция радиоволн – это бич всех систем радиосвязи, за исключением широкополосных и сверхширокополосных шумоподобных, в которых явление «замирания» выражено не так сильно. Это связано с тем, что получить сложение прямого и отражённого сигналов строго в противофазе, причём сразу на всех конкретных частотах (имеющих разную длину волны, частоту и периоды колебаний) в пределах всей полосы пропускания приёмника – дело столь же непростое, как и получить отражённый сигнал, строго синхронный работе коррелятора по основному сигналу. В большинстве шумоподобных систем отражённый сигнал просто поступает в коррелятор с запозданием и воспринимается им как случайная помеха, никак не воздействующая на демодуляцию прямого сигнала. Поэтому сверхширокополосные шумоподобные системы весьма слабо подвержены воздействию эффекта «замирания» сигнала, что было практически подтверждено нами во время реальных испытаний C-UWB RF-технологии на море, с уча-

ствием институтов ВМФ МО РФ Санкт-Петербурга.

Вместе с тем, в широкополосных системах с корреляционной обработкой шумоподобного радиосигнала, наоборот, существует возможность использовать переотражённые сигналы для повышения достоверности принимаемого сигнала, т.е. повышения качества радиосвязи. Для этого используется структура, называемая Rake-приёмник, в котором, помимо приёма прямого сигнала, параллельно работают ещё несколько настроенных на приём отражённых сигналов каналов приёма с собственными корреляторами. Результирующая информация берётся либо с приёмника, принимающего самый мощный сигнал, либо с нескольких каналов на мажоритарной основе в пределах одного или нескольких информационных пакетов. Конечно, это уже более сложная техника, которая, кстати, может быть эффективно реализована с использованием C-UWB RF-технологии.

Термостабильность

C-UWB RF-технология обеспечивает на порядок более высокую термостабильность изделий, т.к. температурные изменения характеристик радиоэлементов оказывают на порядок меньшее воздействие на энергетические компоненты сигнала (основной информационный параметр предлагаемых C-UWB радиосистем) по сравнению с их воздействием на традиционные фазу и частоту. Кроме того, C-UWB RF-технология являет собой тот редкий образец радиосистемы, в которой отсутствуют и потери амплитуды при переносе (преобразовании) полосы спектра полезного широкополосного сигнала в процессе его обработки. Это делает радиосистему чрезвычайно устойчивой не только в плане изменения уровня и условий прохождения радиосигнала, но и в плане термостабильности её рабочих характеристик.

Дополнительным фактором, повышающим термостабильность системы, является полное отсутствие взаимодействия высокочастотного полезного сигнала в процессе его обработки (на фазовом уровне) с ВЧ-сигналами, формируемыми собственными схемами приёмника (такими, например, как сигнал гетеродина и т.п.) вплоть до стадии демодуляции, которая осуществляется корреляционным способом на низкой частоте. Таким образом, помимо допол-

нительного повышения термостабильности, достигается на порядок меньшая чувствительность ВЧ-тракта приёмника и к эффекту Доплера.

Связь, беспилотники, боевые роботы и компьютерные войны

Для обеспечения эффективного управления войсками на современном театре военных действий, управления подразделениями, беспилотниками и боевыми роботами, осуществления опознавания и целеуказания в ходе реальных боевых действий, необходима не трансляция (с губительной радиояркостью) гигабайт «потрясающего вида батальи», и, соответственно, не гигабитные скорости передачи информации, а наличие всего трёх эффективно действующих компонент:

1. разведзащищённой, помехозащищённой, не восприимчивой к эффектам Доплера и «замирания сигнала» (для работы на аэромобильных гиперзвуковых объектах) и термостабильной радиосвязи;
2. знания точного расположения и динамики перемещений подразделений и отдельных мобильных объектов на местности – отслеживания всеми доступными средствами карты их расположения на местности в реальном масштабе времени;
3. эффективного решения задачи опознавания «свой/чужой» и сопряжения результатов с системами управления боем (выдача азимутов боевым единицам и целеуказания системам наведения их поражающих средств) в динамике боя, на уровне и с использованием в процессе ведения боя, систем искусственного интеллекта.

Беспилотники

Для российской C-UWB RF-технологии беспроводной связи организовать разведзащищённую, помехоустойчивую и, впервые, принципиально недоступную для кибератак систему радиосвязи для дистанционного управления боевыми ударными и разведывательными беспилотниками, или, например, боевыми роботами – самая тривиальная задача, которая могла бы быть решена ещё 20 лет тому назад. Вместе с тем, именно эта задача для страны сейчас оказалась нерешённой, первоочередной и наиболее жизненно-важной, даже по сравнению со всеми теми «глобальными» системами, описание которых приведено ниже. Ведь ослеплять и расстреливать беспилотники, даже гиперзвуковые (на

встречном курсе) [5], на основании излучаемого ими радиосигнала, это самое простое дело для любого, даже самого слабого, противника. С традиционными средствами связи в системах дистанционного управления, целое поколение российских беспилотников может оказаться стаей «белых ворон-камикадзе».

Кроме того, для новых типов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), например, при создании БПЛА для ВМФ, возникают совершенно новые проблемы, которые требуется решать:

- возможность вертикального взлёта-посадки;
- автономное позиционирование относительно посадочной платформы;
- вмешательство систем позиционирования и посадки в контур управления и их непосредственного воздействия на специальные элементы управления летательным аппаратом;
- обеспечение прецизионного локального позиционирования (в условиях качки);
- обеспечение гарантированной надёжности работы каналов радиосвязи дистанционного управления во всех режимах («взлёт» – «полёт» – «посадка»), т.е. обеспечение все той же развед- и помехозащищённости, невозможности перехвата управления, невосприимчивости к эффекту Доплера, эффекту «замирания» радиосигнала и т.п.

Обычная радиосвязь здесь, к сожалению, не подходит. Со всеми этими задачами C-UWB RF-технология может справиться блестяще, совершенно бесплатно обеспечивая при этом ещё и автономное локальное позиционирование летательных аппаратов относительно корабля.

Результаты наших исследований показывают, что в качестве БПЛА ВМФ РФ должны быть созданы совершенно новые [15] летательные аппараты, например, для незаметной для радаров маловысотной доставки торпед «Шквал» непосредственно к цели. Ведь подводных лодок в акватории может и не быть, надводный корабль на торпедный выстрел, авианосец к себе не подпустит, а реально потопить его можно только из-под воды, пробив ему борт ниже ватерлинии. Совершенно другие БПЛА [16] нужны для ретрансляции сигналов загоризонтного управления беспилотниками, а также для превращения обычных малогабаритных РЛС в РЛС загоризонтного обнаружения. По корабельным мало-

габаритным загоризонтным РЛС мы уже отстаём даже от Китая. При этом элементы физического управления такими беспилотниками, обязательно, в процессе разработки самого беспилотника и комплекса «корабль – беспилотник», должны быть интегрированы непосредственно с системами локального позиционирования и посадки. Аппаратура выполнения полётного задания может быть независимой и автономной, в пределах ТТХ БПЛА.

Наземная связь

В наземных войсках, на основе C-UWB RF-технологии могли бы быть созданы разведзащищённые сети наземной радиосвязи повышенной живучести. Причём живучесть сетей радиосвязи, создаваемых на основе C-UWB RF-технологии, будет обеспечиваться не только и не столько за счёт развед- и помехозащищённости, сколько благодаря принципиально новой архитектуре этой сети связи [17], обеспечивающей возможность организации автоматической динамической маршрутизации радиотрафика и работы множества дешёвых (\$100–500) ретрансляторов сети в режиме динамического «горячего» резерва (вместо легкоуязвимой и дорогостоящей сети центральных базовых станций). В отличие от традиционных радиосистем с централизованной синхронизацией, в радиосети нового поколения предлагается асинхронное взаимодействие абонентов. Это взаимодействие будет осуществляться как непосредственно между собой (на микро-мощностях), так и через простейшие ретрансляторы с интегральной конвертацией радиочастотного спектра, что оказывается возможным благодаря запатентованному способу устранения из спектра широкополосного сигнала мощных узкополосных помех [12, 13] и многократного расширения динамического диапазона ретрансляторов.

Архитектура новой сети предполагает (избыточное) оснащение дешёвыми (\$500) собственными ретрансляторами каждого воинского подразделения и независимую работу всех ретрансляторов в режиме динамического горячего резерва, что делает каждое подразделение ответственным за «свою» связь и связь «с соседями». Такие системы связи также гарантируют разведзащищённое соединение каждому бойцу в любое время и в любых условиях, т.к. разде-

ление каналов будет осуществляться исключительно по кодовому принципу на физически предельно-возможном уровне обработки радиосигналов. Такой подход исключает как массовые отказы в соединении, возникающие в сотовых сетях из-за ограниченности числа каналов, так и катастрофические отказы сети, из-за вывода из строя или подавления дорогостоящих и легко уязвимых, традиционных базовых станций, работающих на принципах централизованной организации синхронного взаимодействия абонентов. Новая архитектура позволяет кардинально повысить живучесть мобильной военной радиосети в целом. Выбор маршрута связного трафика между корреспондентами осуществляется аппаратурой самих корреспондентов, причём автоматически, корреляционным способом, посредством выбора на физическом уровне обработки сигнала наилучшего из радиосигналов, проходящих через разные ретрансляторы. Это может быть любой один (или даже пара разных: для канала приёма и канала передачи) из множества параллельно работающих ретрансляторов, наиболее подходящих, с точки зрения условий прохождения радиосигнала и даже напрямую, без участия последних.

Бортовые радиокомплексы

С появлением развед- и помехозащищённой C-UWB RF-технологии у России могли бы открыться возможности для создания высокоэффективных тактических систем наземных и аэрокосмических вооружений не только в плане их «механической части», но и в части их электронной и информационной составляющей, т.е. создания нового «интеллектуального» тактического оружия высочайшей эффективности и качества, способного противостоять ушедшему на экспорт «механическому». Такое оружие, созданное на основе C-UWB RTLS-систем (Real-time Locating System – систем локального позиционирования в реальном масштабе времени) будет использовать уже существующие, причём весьма эффективные боевые радары и системы наведения поражающих средств и при этом обеспечит отказ от использования абсолютных координат (и, соответственно, глобальной спутниковой навигации). Это позволит оружию работать в собственной, «боевой» системе координат, предельно удобной для визуального восприятия и оценки реальной

обстановки пилотом или оператором и приемлемой для систем наведения различного рода вооружений. При этом система обеспечит и решение задач целеуказания и проблемы «свой-чужой» [18] в естественном для операторов визуальном (графическом) режиме, независимо от времени суток. Причём эти возможности доступны не только непосредственно на наземном поле боя, но и в рамках систем «земля-воздух», «воздух-земля», а также систем «воздух-воздух» (особенно гиперзвуковых), т.к. C-UWB-технология невосприимчива к эффекту Доплера.

Такая система может быть организована следующим образом. Разведзащищённая мобильная RTLS-радиосеть, выполненная на базе C-UWB-технологии и размещённая, например, на танках, вертолётах, самолётах, беспилотниках или боевых роботах, позволяет автоматически определять их расстояния друг до друга. Затем триангуляционным методом рассчитываются координаты, в реальном времени формируется карта расположения танков на местности (самолётов в пространстве). Полученная картина передаётся на звено истребителей, где бортовые компьютеры автоматически её масштабируют, сверяют с реальной картиной расположения объектов на местности, полученной бортовым радаром или даже видеокамерой, отделят «своих» от «чужих» и распределяют цели. После этого пилотам (или операторам беспилотников) останется только выводить машины на оптимально отобранные каждому бортовым компьютером цели и запускать ракеты. Такой боевой искусственный интеллект обеспечит подавляющее преимущество в боевых действиях, особенно в современной «войне без фронтов» и в стратегических сражениях, где будут задействованы тысячи единиц техники, внешне практически неотличимой для всех противоборствующих сторон. До появления радиосвязи, обладающей таким качеством, как разведзащищённость, подобного рода системы не могли быть созданы принципиально, поскольку открытый радиосигнал, не требуя никаких радаров, выдавал бы их «с головой».

Помимо кратного увеличения количества каналов связи, одновременно работающих на поле боя (необходимого для реализации принципа «всегда на связи») и ограничиваемого только физикой Шеннона-Котельникова,

предлагаемая технология позволит решить проблему оперативно-тактического взаимодействия разных родов войск (благодаря использованию для всех родов войск общей или специально выделенной для межвидового взаимодействия частотной полосы и разделения родов не по частотному, а по кодовому принципу). Поэтому данная технология (при полной унификации технических средств!) может послужить инструментом для организации эффективного ситуационного межвидового взаимодействия всех боевых подразделений, участвующих в конкретной операции (в т.ч. взаимодействия подразделений непосредственно с вооружением, т.е. с вертолётами огневой поддержки, корабельными системами, артиллерией, ракетными, танковыми подразделениями и т.п.), что в условиях современного боя является жизненно необходимым.

Историческая справка

Во времена предыдущих руководителей отрасли описанные в статье системы не могли быть созданы принципиально, поскольку не существовало [11, 12, 19] соответствующей радиочастотной технологии. Технологии, которая обеспечила бы одновременно и помехозащищённость, т.е. эффективное функционирование всей системы в зонах активных преднамеренных радиопомех, и полную информационную безопасность, и, что самое главное – разведзащищённость, чтобы сами мобильные объекты не стали отличными мишенями и идеальным источником информации для радиопеленгационного оборудования и систем наведения поражающих средств противника. Не существовало технологии, которая при этом была бы ещё и невосприимчивой к эффекту Доплера (работала на гиперзвуке), эффекту «замирания» радиосигнала и обеспечивала бы высочайший уровень термостабильности. Не существовало технологии, которая, благодаря использованию, описанных выше, методов группового управления и опознавания целей, позволяла бы реализовать решение всех этих трёх задач (связь, опознавание, целеуказание) в едином радиочастотном и процессорном блоках и избавиться от многократного и бессмысленного дублирования радиоаппаратуры в боевых комплексах и системах.

Заключение

Создание описанных в статье систем связи, навигации, авиаразведки и боевого управления давно могло бы качественно повысить боеспособность Российской Армии и сократить стоимость её переоснащения современным оружием. Но, как показывает многолетняя практика, не аффилированным компаниям, инновационные оборонные проекты реализовывать в стране было просто невозможно [19, 20].

К счастью, теперь все эти вопросы полностью находятся в зоне персональной ответственности первого вице-премьера – настоящего специалиста в области электроники, Героя России, доктора технических наук, профессора Юрия Ивановича Борисова. Поэтому нет сомнений, что теперь «чудо», наконец-то, произойдёт [21]: страна возродит полупроводниковую индустрию и столь важная для государства задача, как безопасная военная радиосвязь, безопасное управление боевыми роботами, боевыми разведывательными и ударными беспилотниками, будет успешно решена.

Литература

1. Википедия – чудо. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D1%83%D0%B4%D0%BE>.
2. Борисов назвал Россию отставшей от США по инвестициям в радиоэлектронику. РБК 2020: <https://www.rbc.ru/society/15/04/2020/5e9741bc9a79477045117a32>.
3. Пешкова И. Российская микроэлектроника требует 800 миллиардов. CNEWS. 2019: https://www.cnews.ru/news/top/2020-09-07_rossijskaya_mikroelektronika.
4. Галицын А. А. IoT-радиопроцессор с криптокодированием структуры радиосигнала. Современная электроника. 2019. №7.
5. Галицын А. А., Рождественский А. Е., Рождественский Д. Б. Системы управления с «предвидением». Современная электроника. 2019. №9.
6. Егоров Е. В., Егоров В. К., Галицын А. А. Явление и последствия волноводно-резонансного распространения и взаимодействия радиационных потоков. Современная электроника. 2019. №10.
7. Галицын А. А. Туманный интернет вещей. Современная электроника. 2020. №3.
8. На Су-57 испытывается новейшая криптозащищённая система связи. ТАСС. 2019: <https://tass.ru/armiya-i-opk/6897150>.
9. Алексенко А. Г., Галицын А. А., Иванников А. Д. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на микропроцессорах. Радио и связь. 1984.

10. Галицын А. А. Интегральный радиопроцессор – перспективная техническая основа Интернета вещей. Датчики и Системы. 2015. №1.
11. Галицын А. А. Технология C-UWB – основа для информационно-телекоммуникационных систем нового поколения. Электроника: наука, технология, бизнес. 2008. №5.
12. Бобков М. Н., Галицын А. А., Калугин В. В. Патент на изобретение №2232464 RU. Способ подавления узкополосной помехи в системе широкополосной связи. 2002.
13. Bobkov M., Galitsyn A., Kalugin V. US Patent № 7.250.541 B2. Method for suppressing narrowband noise in a wideband communication system. 2002.
14. Галицын О. И. Патент на изобретение №2557451 RU «Способ динамической адресации корреспондентов мобильной радиосети и устройство для его реализации». 2012.
15. В. Путин и С. Шойгу в Севастополе. Россия -1. Вести. 2020: https://www.ontvtime.ru/index.php?option=com_content&task=view_record&id=1450&start_record=2020-01-12-22-50.
16. Автожир. Википедия: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автожир>.
17. Галицын А. А. Патент на изобретение №2463736 RU «Способ групповой обработки сигналов внутризоновых корреспондентов базовых станций радиотелефонной сети с кодовым разделением каналов и устройство для его реализации». 2009.
18. Галицын А. А. Патент на изобретение №2507538 «Способ группового опознавания объектов («свой-чужой») и обеспечения целеуказания на основе беспроводной системы позиционирования в реальном масштабе времени и интеллектуальных радаров». 2009.
19. Галицын А. А. Технология широкополосной высокочастотной радиосвязи (C-UWB): что лежит «под сукном» у российских чиновников. Техносфера. 2008. №1.
20. Степанов Д. Заместитель главы департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга Антон Исаев задержан по подозрению в мошенничестве. CNEWS.2020: https://www.cnews.ru/news/top/2020-09-11_siloviki_zaderzhali_zamglavy.
21. Николаев А. Кадры, которые не решают ничего. Интернет-журнал «Интересант». 2020: <https://www.interessant.ru/politics/kadry-kotorye-nie-rieshai-1>.



Разработка модели цифрового компонента в Altium Designer

Часть 3

Юрий Леган (yuri.legan@altium.com)

В статье рассмотрены задачи моделирования смешанных электрических цепей, приведены сведения о возможностях интегрированного имитатора электрических цепей Altium Designer, дано описание процесса разработки модели четырёхразрядного счётчика микросхемы MC14520B фирмы On Semiconductor от сбора исходных данных до формирования компонента библиотеки. В третьей части представлен процесс разработки макромодели компонента.

Разработка компонента интегрированной библиотеки

Реализацию модели компонента для дальнейшего применения удобно выполнить в виде макромодели, которую часто называют подсхемой (subcircuit). Макромодели для имитатора электрических цепей Altium Designer должны находиться в файлах с расширением .ckt. Файл .ckt представляет собой простой текст и может содержать несколько макромоделей, т.е., по сути, может являться библиотекой макромоделей компонентов. Однако для удобства работы, как правило, размещают одну макромодель.

Чтобы сформировать макромодель, необходимо соблюсти требования SPICE-языка. Описание макромодели состоит из четырёх основных частей, три из которых являются обязательными:

1. объявление макромодели с перечнем внутренних узлов, которые являются портами макромодели для соединения с другими моделями и макромоделями схемы (обязательная часть);
2. параметры макромодели, которые позволяют выполнить более точную настройку поведения макромодели без необходимости её изменения (необязательная часть);
3. тело макромодели, которое реализует основную функциональность макромодели и состоит из моделей-экземпляров, реализующих модели имитатора или другие макромодели (обязательная часть);
4. закрытие макромодели (обязательная часть).

Объявление макромодели должно иметь следующий вид:

```
.subckt <имя макромодели> <узел макромодели 1> [<узел макромодели 2>...<узел макромодели n>]
```

Обязательное ключевое слово *.subckt* указывает на начало описания макромодели. В объявлении должно присутствовать название макромодели, уникальное в пределах множества доступных имитатору файлов макромоделей. Обязательно должен присутствовать хотя бы один узел макромодели, осуществляющий взаимосвязь тела макромодели и её окружения. При этом перечисление узлов при вызове макромодели должно иметь тот же порядок, что и в объявлении макромодели. В квадратных скобках здесь и далее указаны необязательные параметры.

Объявление параметров макромодели должно быть выполнено в строке объявления макромодели и имеет следующий вид:

```
params: <имя параметра 1>={<значение по умолчанию>} [, <имя параметра 2>={<значение по умолчанию>}, ... <имя параметра m>={<значение по умолчанию>}]
```

Ключевое слово *params* должно присутствовать только при наличии хотя бы одного параметра макромодели. Версия имитатора для Altium Designer до 19.1 включительно требует обязательного наличия фигурных скобок при объявлении значения параметра по умолчанию. В Altium Designer 20.0 и последующих версиях синтаксис SPICE-языка является более гибким и позволяет опускать фигурные скобки. Обращение к параметру макромодели может быть выполнено по имени, но строго в пределах данной макромодели. Как правило, объ-

явление параметров выполняют в следующей за объявлением макромодели строке, предваряя объявление параметров знаком «+»:

```
+ params: ...
```

Использование отдельной строки при объявлении параметров делает код более удобочитаемым.

Тело макромодели должно содержать хотя бы одну модель-экземпляр или макромодель, имеющую в своём вызове указание узла/узлов макромодели. При необходимости тело макромодели может содержать не только вызовы моделей-экземпляров и макромоделей, но и объявления их прототипов. Модель-прототип – это описание встроенной модели имитатора, снабжённое определениями её параметров. Модель-экземпляр – это вызов модели-прототипа. На одну модель-прототип может ссылаться множество моделей-экземпляров. Встроенная модель имитатора, указанная в объявлении модели-прототипа, указывает имитатору тип модели-прототипа.

Пример вызова модели-экземпляра D1, имеющей модель-прототип *dbulk*, подключённую к узлам *anode* и *cathode* электрической цепи:

```
D1 anode cathode dbulk
```

Пример объявления модели-экземпляра *dbulk* типа D (диод) с определённым значением параметра $IS=10^{-7}$:

```
.model dbulk D(IS=1e-7)
```

Закрытие макромодели всегда имеет вид:

```
.ends [<имя макромодели>]
```

Формирование файла задания имитатора для расчёта электрической цепи. С помощью выполненного в задании описания построенной модели микросхемы MC14520B можно выполнить с минимальными корректировками, используя файл из задания на моделирование (см. рис. 17). На рисунке 18 показан фрагмент кода со строкой объявления макромодели.

Перечень параметров (см. рис. 19), которые требуется менять в объявлении макромодели, следует преобразовать согласно ука-


```

DigitalSchet
*SPICE Netlist generated by Advanced Sim server on 30.07.2020 18:01:15

*Schematic Netlist:
XA1_IN_C arg1_IN_C arg2_IN_C NetA1_IN_C_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_E arg1_IN_E arg2_IN_E NetA1_IN_E_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_R arg1_IN_R arg2_IN_R NetA1_IN_R_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_S arg1_IN_S arg2_IN_S NetA1_IN_S_3 DIVIDER_CKT
XA2_IN_C NetA1_IN_C_3 IN_C LIMITER_CKT
XA2_IN_E NetA1_IN_E_3 IN_E LIMITER_CKT
XA2_IN_R NetA1_IN_R_3 IN_R LIMITER_CKT
XA2_IN_S NetA1_IN_S_3 IN_S LIMITER_CKT
XAm1h_OUT_Q0 fvp_OUT_Q0 G_OUT_Q0 NetAm1h_OUT_Q0_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1h_OUT_Q1 fvp_OUT_Q1 G_OUT_Q1 NetAm1h_OUT_Q1_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1h_OUT_Q2 fvp_OUT_Q2 G_OUT_Q2 NetAm1h_OUT_Q2_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1h_OUT_Q3 fvp_OUT_Q3 G_OUT_Q3 NetAm1h_OUT_Q3_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1l_OUT_Q0 fvp_OUT_Q0 G_OUT_Q0 NetAm1l_OUT_Q0_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1l_OUT_Q1 fvp_OUT_Q1 G_OUT_Q1 NetAm1l_OUT_Q1_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1l_OUT_Q2 fvp_OUT_Q2 G_OUT_Q2 NetAm1l_OUT_Q2_3 MULTIPLIER_CKT
XAm1l_OUT_Q3 fvp_OUT_Q3 G_OUT_Q3 NetAm1l_OUT_Q3_3 MULTIPLIER_CKT
XAm2h_OUT_Q0 NetAm1h_OUT_Q0_3 log1_OUT_Q0 resulth_OUT_Q0 MULTIPLIER_CKT
XAm2h_OUT_Q1 NetAm1h_OUT_Q1_3 log1_OUT_Q1 resulth_OUT_Q1 MULTIPLIER_CKT
XAm2h_OUT_Q2 NetAm1h_OUT_Q2_3 log1_OUT_Q2 resulth_OUT_Q2 MULTIPLIER_CKT
XAm2h_OUT_Q3 NetAm1h_OUT_Q3_3 log1_OUT_Q3 resulth_OUT_Q3 MULTIPLIER_CKT

```

Рис. 17. Выдержка файла задания для имитатора электрических цепей

```

.subckt DigitalSchet enable reset clock out_q0 out_q1 out_q2 out_q3 power ground
+ params: Cin=(7.5e-12)
XA1_IN_C arg1_IN_C arg2_IN_C NetA1_IN_C_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_E arg1_IN_E arg2_IN_E NetA1_IN_E_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_R arg1_IN_R arg2_IN_R NetA1_IN_R_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_S arg1_IN_S arg2_IN_S NetA1_IN_S_3 DIVIDER_CKT

```

Рис. 20. Перенос параметра в объявление макромодели вентиля микросхемы

```

+ no yes
.model and_d_and(rise_delay=rise_delay_inst fall_delay=fall_delay_inst)
+ input_load=(input_load_inst))
.ends and4_ckt

.model VOLTSWITCH sw(VT=0.5)

.model DIODE d()

.ends digitalschet

```

Рис. 22. Закрытие макромодели вентиля микросхемы

занным ранее требованиям (см. рис. 20). Тело макромодели следует откорректировать, убрав из него модели-экземпляры, реализующие тестовое окружение макромодели – источники G1–G6 (см. рис. 21). Завершить описание макромодели следует командой закрытия (см. рис. 22).

Сформированная макромодель описывает один из двух вентилях микросхемы, а сама модель содержит два таких вентиля, поэтому следует сформировать ещё одну макромодель, содержащую в теле два вызова макромодели одного вентиля микросхемы (см. рис. 23).

Сведения из спецификации по условному графическому обозначению (УГО) (см. рис. 24) могут быть использованы для разработки УГО элемента схемы в Altium Designer (см. рис. 25). Последним шагом в разработке элемента схемы будет назначение модели в редакторе УГО. Назначение модели не требует больших усилий, однако важно проверить назначение выводов УГО и портов модели. Если требуется, назначение выводов можно изменить в столбце Model Pin на вкладке Port Map окна Sim Model (см. рис. 26).

```

.subckt DigitalSchet enable reset clock out_q0 out_q1 out_q2 out_q3 power ground
XA1_IN_C arg1_IN_C arg2_IN_C NetA1_IN_C_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_E arg1_IN_E arg2_IN_E NetA1_IN_E_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_R arg1_IN_R arg2_IN_R NetA1_IN_R_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_S arg1_IN_S arg2_IN_S NetA1_IN_S_3 DIVIDER_CKT

```

Рис. 18. Объявления макромодели вентиля микросхемы

```

.OPTION KeepLastSetup=False
*Selected Circuit Analyses:
.TRAN 1E-10 2E-6 0 1E-10
*Global Parameters:
.PARAM Cin=7.5e-12

```

Рис. 19. Исходное определение параметра Cin в файле задания имитатора

```

VG1 enable ground 5
VG2 clock ground PULSE(0 5 0 1n 1n 1e-7 1e-6)
VG3 reset ground 0
VG4 ground 0 0.5
VG5 power ground 5
VG6 OUT_Q0 ground DC 0 SIN(2.5 2.5 1meg 0 0) AC 1 0

```

Рис. 21. Внешнее окружение модели вентиля микросхемы

```

.subckt mcl4520b Ea Ra Ca Q0a Q1a Q2a Q3a Eb Rb Cb Q0b Q1b Q2b Q3b power ground
+ params: Cina=(7.5e-12) Cinb=(7.5e-12)
X1 Ea Ra Ca Q0a Q1a Q2a Q3a power ground DigitalSchet params: Cin=(Cina)
X2 Eb Rb Cb Q0b Q1b Q2b Q3b power ground DigitalSchet params: Cin=(Cinb)
.ends mcl4520b

.subckt DigitalSchet enable reset clock out_q0 out_q1 out_q2 out_q3 power ground
+ params: Cin=(7.5e-12)
XA1_IN_C arg1_IN_C arg2_IN_C NetA1_IN_C_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_E arg1_IN_E arg2_IN_E NetA1_IN_E_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_R arg1_IN_R arg2_IN_R NetA1_IN_R_3 DIVIDER_CKT
XA1_IN_S arg1_IN_S arg2_IN_S NetA1_IN_S_3 DIVIDER_CKT

```

Рис. 23. Определение макромодели микросхемы содержит вызов двух вентилях

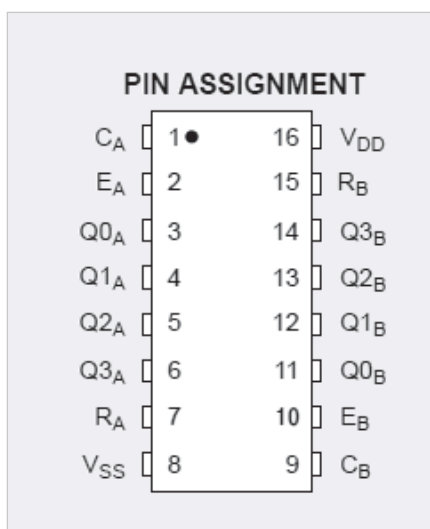


Рис. 24. Условное изображение корпуса микросхемы с выводами

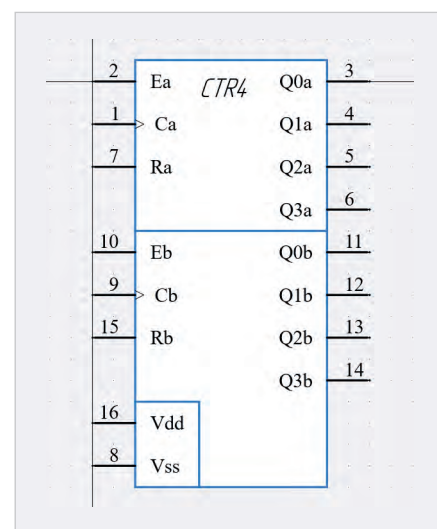


Рис. 25. Условное графическое обозначение микросхемы в Altium Designer

Закключение

Разработанная модель достаточно точно соответствует предельным требованиям, заявленным в спецификации электронного компонента. Модель разработана на основе сведений из спецификации, которые не являются исчерпывающими. При использовании в качестве источника информации большего массива данных, полученных с помощью

средств измерений и статистического усреднения, можно разработать модель, отражающую не предельные характеристики элемента, а нормальные эксплуатационные. Разработанная модель (SPICE-код) может быть использована с имитаторами электрических цепей, совместимых с Altium Mixed Sim по синтаксису, например ngspice и некоторых других.

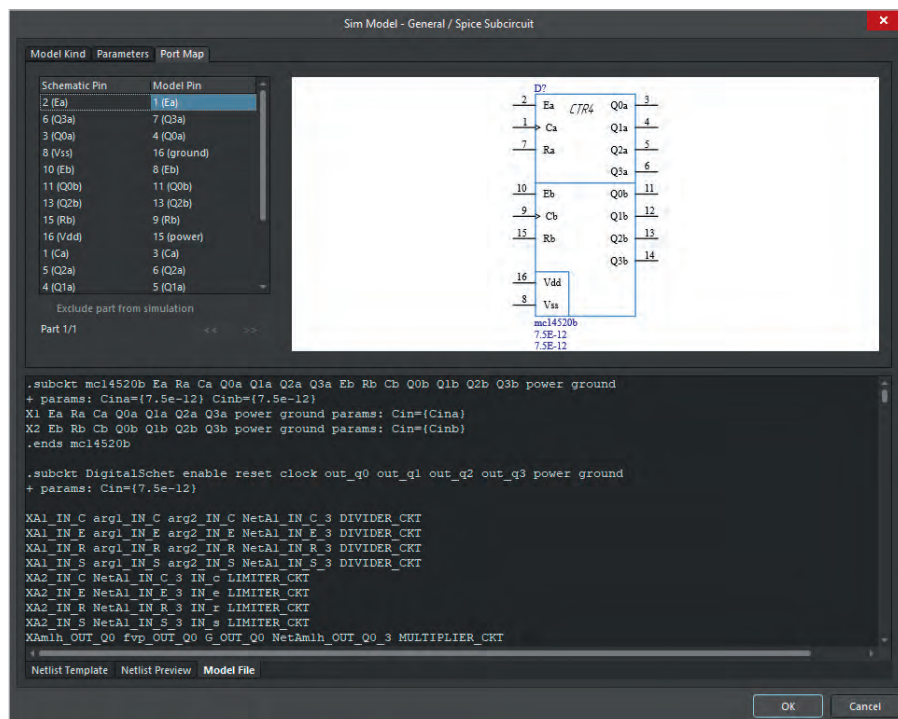


Рис. 26. Таблица назначения выводов условного графического обозначения портам макромодели

В статье подробно описаны процессы разработки модели и применение для этих целей средств моделирования Altium Designer как средства верификации.

В качестве дополнительных материалов для изучения имитатора электрических цепей автор рекомендует обратиться к руководству пользова-

теля [1] и библиотеке базовых моделей имитатора Altium Mixed Sim Primitive Library.IntLib [2]. Библиотека будет хорошим подспорьем для начинающих пользователей имитатора, т.к. большинство компонентов в ней сопровождается описанием на русском языке и примерами электрических цепей включения в виде отдельных проектов. Таким образом, библиотека играет роль практического пособия. Все компоненты библиотеки снабжены условными графическими обозначениями, соответствующими определениям ЕСКД (ГОСТ 2.721).

Литература

1. Altium Mixed Sim. Руководство пользователя Altium Designer. Сайт компании Altium. URL: [https://resources.altium.com/sites/default/files/2020-05/Altium Mixed Sim - Руководство пользователя Altium Designer.pdf](https://resources.altium.com/sites/default/files/2020-05/Altium%20Mixed%20Sim%20-%20Руководство%20пользователя%20Altium%20Designer.pdf).
2. Библиотека базовых моделей Sim Lib GOST. Сайт представительства компании Altium в России и СНГ. URL: <https://www.altium.ru.com/sites/default/files/attachments/Sim%20Lib%20GOST.zip>.



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

Реклама

JTAG 25
We are boundary-scan.®

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

Физико-математическое моделирование энергетических процессов в импульсных прямых ксеноновых лампах, работающих в электрических схемах

Часть 1

Юрий Мандрыко, Александр Чирцов (Санкт-Петербург)

В статье представлено физико-математическое моделирование временных характеристик энергетических параметров плазменного канала дугового электрического разряда в импульсных прямых ксеноновых лампах при работе в схемах на основе модулятора с квазистабильными по амплитуде прямоугольными импульсами напряжения. Моделирование учитывает процессы ионизации, нагрева ксенона, электромагнитного излучения плазменного канала и теплоотдачи из него в окружающую среду. Построенные модели сопоставлялись с результатами эксперимента для временных характеристик энергетических параметров электрического разряда.

Введение

Импульсные стробоскопические прямые ксеноновые лампы (ИСПКЛ), импульсные прямые ксеноновые лампы для оптической накачки лазеров (ИНПКЛ), а также их зарубежные аналоги широко применяются в различных отраслях науки и техники [1]. Перечисленные устройства находят применение импульсных источниках света [2–4], в твердотельных лазерах типов LQ-529, LQ-830, LQ-929, MIT-51-2, лазерах на красителях, химических и других лазерах в качестве средств оптической ламповой накачки активных элементов [5]. Импульсные ксеноновые лампы (ИКЛ) применяются в электрофизических установках [6] для измерения расстояний, в фотографии, сигнализации, сварке [7] и резке, медицине, косметологии, светотехнике [8], фотохимии [9], спектрофотометрии [10], технологиях обеззараживания [11]. Параметры импульсного излучения ксеноновых ламп (длительность фронта импульса излучения, длительность импульса излучения, энергия импульса излучения и его спектральные характеристики) зависят от динамики формирования, расширения неравновесного плазменного канала, увеличения и поддержания температуры установившегося по объёму равновесного плазменного канала и могут регулироваться в определённых пределах путём изменения параметров электрического питания самих ламп,

то есть выбором режима их работы. Для эффективного подбора режимов электрического питания газоразрядных ламп, обеспечивающего оптимизацию их работы, целесообразно создание полуэмпирических моделей, связывающих между собой ранее указанные параметры. При этом оказывается, что практически важные и сравнительно легкодоступные экспериментальному определению электрические и оптические параметры импульсного электрического разряда в инертном газе связаны между собой через внутренние физические параметры плазмы, определение которых оказывается существенно более сложной задачей. Появление современных средств физико-математического численного моделирования нелокальной нестационарной плазмы [12] открывает пути для построения численных моделей газовых электрических разрядов в рамках гидродинамических приближений, не требующих чрезмерно больших вычислительных ресурсов [13].

В настоящее время физико-математическое численное моделирование нелокальных плазменных сред превратилось в мощный инструмент развития современной физики газового электрического разряда. Компьютерные модели плазмы эффективны для получения достоверных данных о внутренних параметрах разрядных промежутков и не имеют альтернативы в случаях, где необходимо учитывать

множество элементарных процессов и их 2D- или 3D-геометрию [14]. Физико-математические численные модели процессов в плазменных средах, реализующие метод последовательных приближений (итераций) для параметров нелокальной плазмы, как правило, содержат набор трудно поддающихся как теоретическим, так и прямым экспериментальным оценкам внутренних физических параметров плазмы. В связи с этим они зачастую оказываются работоспособными лишь в ходе сопоставления расчётных параметров с экспериментальными электрическими и оптическими параметрами импульсного электрического разряда в инертном газе [15]. Это сопоставление существенно зависит от количества внутренних физических параметров, с целью определения которых была выполнена настоящая работа. Главная задача работы – создание физико-математических моделей работы импульсной ксеноновой лампы на базе системы уравнений и их оптимизации в ходе сопоставления результатов расчётов с экспериментально измеренными данными.

Устройство и принципы функционирования экспериментальной установки

Для выполнения экспериментальной части исследования была разработана и собрана электрическая схема формирования импульсов электрической мощности, поступающих в лампу. Для этой электрической схемы характерна последовательная регулировка во времени и отдельная регулировка по амплитуде и длительности импульсов электрической мощности, поступающих в ксеноновую лампу на всех стадиях формирования электрического разряда в ксеноне: формирования стримера, горения плазменного канала псевдодежурной дуги, расширения неравновесного плазменного канала, увеличения, уменьшения или поддержания температуры равно-

весного плазменного канала (генерации фронта, среза или поддержания амплитуды импульса мощности излучения) [16]. На рисунке 1 представлен фрагмент электрической схемы для функционирования газоразрядных ламп, состоящий из схем, формирующих импульсы зажигания (поджига) и поддержания тока псевдодежурной дуги, и выходного каскада, построенного из электрических элементов с коммутирующим IGBT-транзистором и обеспечивающего формирование импульсов электрической мощности, поступающих в импульсную ксеноновую лампу. Процессам, происходящим в этом фрагменте электрической схемы для функционирования импульсных ксеноновых ламп, посвящена данная статья.

В схеме использованы следующие элементы: R1 (75 Вт), R2 (5 Вт), R3 (5 Вт), R4 (0,25 Вт), R5 (0,5 Вт), R6 (1 Вт); CK (800 В); диоды VD1 и VD2 типа FR607; фотодиод VD3 типа BPW21R; импульсный стабилитрон (диод Зенера) VD4 типа KC522A; IGBT-транзистор VT1 типа IRG4PSC71U; осциллографы 1, 2, 3 типов HPS10, HPS40, HPS50, APS230; IXL (ИКЛ) типа ИНИ-5/45. Электрические схемы, формирующие импульсы зажигания (поджига) в лампе и поддержания тока псевдодежурной дуги, изображены на рисунке 1 в виде единого функционального блока. Принципы функционирования таких электрических схем описаны в соответствующем источнике литературы [16]. Двухполярный импульс высокого напряжения поджига амплитудой 6 кВ и длительностью 16,5 мкс прикладывается между анодом А и катодом К ксеноновой лампы, что приводит к созданию стримера, а затем и к электрическому пробое ксенона между электродами лампы. Импульсная электрическая схема поддержания тока псевдодежурной дуги создаёт между электродами лампы импульс напряжения, под воздействием которого стример перерастает в плазменный канал псевдодежурной дуги. Плазменный канал псевдодежурной дуги находится в состоянии готовности к поступлению силового импульса напряжения накачки между анодом и катодом лампы в течение промежутка времени задержки стробирующего прямоугольного импульса напряжения управления IGBT-транзистором, прикладываемого между его затвором и эмиттером, относительно начального момента времени создания стримера. В течение времени ожидания прихода силового импульса электрического напряжения накачки, когда лампа находится в режи-

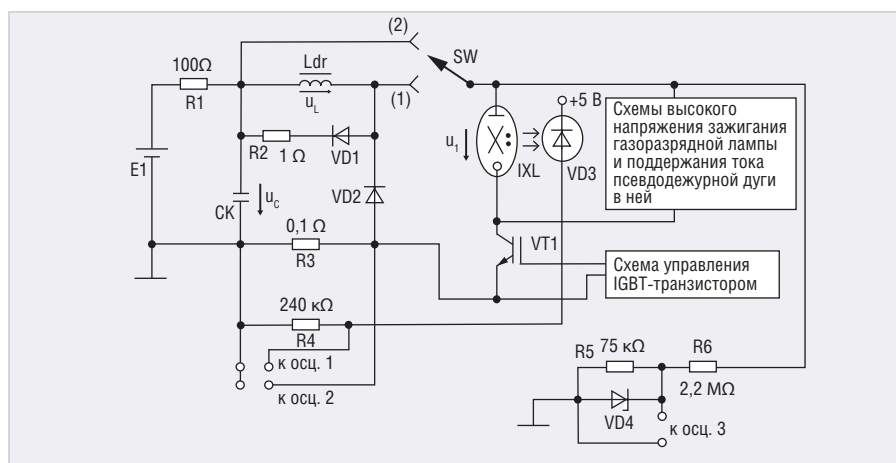


Рис. 1. Фрагмент электрической схемы для функционирования импульсных ксеноновых ламп

ме горения плазменного канала псевдодежурной дуги, IGBT-транзистор VT1 находится в режиме отсечки и блокирует напряжение $U_{CK}(t_0)$, до которого заряжен блок накопительных конденсаторов CK. Процесс формирования силового импульса электрического напряжения накачки запускается поступающим от схемы управления стробирующим прямоугольным импульсом напряжения управления IGBT-транзистором VT1, прикладываемым между его затвором и эмиттером. Под воздействием этого импульса IGBT-транзистор полностью открывается, переходя в режим насыщения. Под воздействием силового импульса электрического напряжения накачки, когда лампа находится под воздействием силового импульса электрического напряжения накачки, формируемого изображенным на рисунке 1 выходным каскадом, в газоразрядной лампе из плазменного канала псевдодежурной дуги возникает расширяющийся неравновесный плазменный канал, переходящий затем в установившийся и распределённый по объёму квазиравновесный плазменный канал.

В рассматриваемом фрагменте электрической схемы для функционирования импульсных ксеноновых ламп реализуются два режима формирования силового импульса тока накачки.

Когда тумблер SW находится в положении (1), выходной каскад представляет собой разрядный LC-контур из элементов CK-Ldr-IXL (AK)-VT1 (КЭ)-R3-CK электрической схемы, представленной на рисунке 1. В нём формируется силовой импульс электрического тока в лампе, длительность которого определяется длительностью управляющего работой IGBT-транзистора VT1 стробирующего импульса электрического напряжения, приложенного между затвором и эмиттером IGBT-транзистора. Если длитель-

ность управляющего IGBT-транзистором VT1 строба меньше длительности положительной полуволны электрического сигнала, то после запираания IGBT-транзистора (перехода его в режим отсечки) затухающий ток протекает по контуру Ldr-VD1 (AK)-R2-Ldr. Если физические параметры рассматриваемой системы выбраны так, что после положительной полуволны полусинусоидального затухающего импульса тока накачки следует его отрицательная полуволна, то перезаряженный накопительный конденсатор CK разряжается по контуру CK-R3-VD2 (AK)-(VD1 (AK)-R2)||Ldr-CK. В описанном первом варианте функционирования схемы («режим ограничения скорости изменения и амплитуды тока накачки физическими процессами в дросселе и самой импульсной ксеноновой лампе») процессы формирования плазменного канала включают в себя:

1. стадию расширения неравновесного плазменного канала;
2. стадию увеличения температуры равновесного плазменного канала;
3. стадию уменьшения температуры плазменного канала.

На первых двух стадиях формируется фронт (нарастающая часть) излучающего силового импульса тока накачки, а на третьей стадии – срез (затухающая часть) этого импульса.

Когда тумблер SW находится в положении (2), выходной каскад представляет собой модулятор с частичным разрядом накопительной ёмкости, состоящий из элементов CK-IXL (AK)-VT1 (КЭ)-R3-CK электрической схемы, представленной на рисунке 1. В нём формируется силовой импульс электрического тока накачки в лампе, длительность которого определяется длительностью строба управления IGBT-транзистором VT1, приложенно-

$$N_{\text{column}}^{(e)} = N_{\text{channel}}^{(i)} + N_{\text{channel}}^{(T)} + N_{\text{channel}}^{(r)} + N_{\text{xe}}^{(z)} \quad (1a)$$

$$N_{\text{column}}^{(e)} = N_{\text{channel}}^{(T)} + N_{\text{channel}}^{(r)} + N_{\text{xe}}^{(z)} \quad (16)$$

$$N_{\text{lamp}}^{(e)} = i_{\text{channel}} \times U_{\text{lamp}} = N_{\text{column}}^{(e)} + N_{\text{anode}}^{(e)} + N_{\text{cathode}}^{(e)} \quad (2)$$

$$N_{\text{column}}^{(e)} = i_{\text{channel}} \times U_{\text{column}} = i_{\text{channel}}^2 \times Y_{\text{column}}^{-1} \quad (3)$$

$$U_{\text{column}} = U_{\text{lamp}} - U_{\text{anode}} - U_{\text{cathode}} \quad (4)$$

$$N_{\text{channel}}^{(i)} = \frac{n_e \times w_e}{\left(1 + \frac{n_{\text{Ta}}}{n_e}\right)} \times \frac{dV_{\text{channel}}}{dt} = \frac{n_e \times \left(W_i + \frac{3}{2} \times k \times T_{\text{eo}}\right)}{\left(1 + \frac{n_{\text{Ta}}}{n_e}\right)} \times \frac{H^2}{\sigma \times U_{\text{column}}} \times \frac{di_{\text{channel}}}{dt} \quad (5)$$

$$\sigma = D \times T_e^2 \quad (6)$$

$$n_e = \frac{U_{\text{column}} \times D \times T_{\text{eo}}^2}{q_e \times H} \times \sqrt{\frac{m_e}{(3 \times k \times T_{\text{eo}} + 2 \times q_e \times U_{\text{column}})}} \quad (7)$$

$$n_{\text{Ta}} = n_{a0} \times \frac{G_{\text{Ta}}}{G_{a0}} \times \exp\left(-\frac{j_i}{W_{\text{Ta}}}\right) \quad (8)$$

го между его затвором и эмиттером. Ёмкость блока конденсаторов СК подобрана так, чтобы за длительность силового импульса тока накачки он разрядился не более чем на 5%. В результате этого электрическая схема обеспечивает квазистабильное импульсное напряжение накачки между электродами лампы, значение которого отличается от напряжения на накопительной ёмкости блока конденсаторов СК на величину падения напряжения между коллектором и эмиттером IGBT-транзистора VT1 $U_{\text{CEVT1sat}} \approx 2$ В, находящегося в режиме насыщения. В описанном втором варианте функционирования схемы («режим ограничения скорости изменения и амплитуды тока накачки процессами в импульсной ксеноновой лампе») процессы формирования плазменного канала в лампе включают в себя:

1. стадию расширения неравновесного плазменного канала;
2. стадию увеличения температуры равновесного плазменного канала;
3. стадию поддержания температуры равновесного плазменного канала.

На первых двух стадиях формируется фронт (нарастающая часть) излучающего силового импульса тока накачки, а на третьей стадии – плоская вершина (часть со стабильной амплитудой) этого импульса.

Длительность фронта силового импульса тока накачки может варьироваться в диапазоне от десятков до сотен мкс в зависимости от значения силового импульса напряжения накачки. Увеличение амплитуды силового импульса напряжения приводит к сокращению

длительности переднего фронта токового импульса и увеличению его амплитуды.

Для оптимизации режимов работы рассматриваемой системы необходимо сопоставление электрической мощности, подводимой к импульсной ксеноновой лампе, с её мощностью излучения на всех стадиях горения импульсного электрического газового разряда. Частичный анализ физических процессов формирования плазменного канала при электропитании газоразрядных ламп в электрической схеме на основе LC-контура, реализующей первый вариант работы схемы электропитания, проведён в ряде работ [4, 5, 8, 17, 18]. Однако до сих пор не был реализован расчёт мгновенных значений физических параметров излучения, нагрева ксенонового плазменного канала и физических параметров фазового перехода ксенона из газообразного в плазменное агрегатное состояние при электропитании газоразрядных ламп в электрической схеме на основе модулятора с частичным разрядом накопительной ёмкости (модулятора с квазистабильными по амплитуде прямоугольными импульсами напряжения).

Актуальность данной работы заключается в построении физико-математических моделей для энергетических процессов формирования ксенонового плазменного канала при функционировании ИКЛ (ИНПКЛ, ИСПКЛ) в электрической схеме на основе модулятора с частичным разрядом накопительной ёмкости, реализующей так называемый второй вариант работы схемы электропитания.

Физико-математические модели энергетических процессов формирования ксенонового плазменного канала дугового электрического разряда

При разработке физико-математических моделей для энергетических процессов развития плазменного канала дугового электрического разряда в ИКЛ использованы системы уравнений для стадий расширения неравновесного плазменного канала, увеличения и поддержания температуры равновесного плазменного канала.

На стадии расширения неравновесного плазменного канала электрическая мощность $N_{\text{column}}^{(e)}$, поступающая в положительный столб расширяющегося плазменного канала, расходуется на мощность ионизации $N_{\text{channel}}^{(i)}$, необходимую для создания плазмы (мощность фазового перехода из газообразного в плазменное агрегатное состояние), тепловую мощность $N_{\text{channel}}^{(T)}$, необходимую для нагрева расширяющегося плазменного канала, мощность излучения расширяющегося плазменного канала $N_{\text{channel}}^{(r)}$ и мощность теплоотдачи $N_{\text{xe}}^{(z)}$ из расширяющегося плазменного канала в окружающую среду, имеющую температуру T_0 , через граничную область канала, холодный ксенон и кварцевые стенки колбы ИКЛ (см. формулу 1а).

На стадиях увеличения и поддержания температуры равновесного плазменного канала электрическая мощность $N_{\text{column}}^{(e)}$, поступающая в положительный столб установившегося по объёму равновесного плазменного канала, расходуется на тепловую мощность $N_{\text{channel}}^{(T)}$, необходимую для нагрева равновесного плазменного канала, мощность излучения равновесного плазменного канала $N_{\text{channel}}^{(r)}$ и мощность теплоотдачи $N_{\text{xe}}^{(z)}$ из равновесного плазменного канала в окружающую среду, имеющую температуру T_0 , через граничную область канала и кварцевые стенки колбы ИКЛ (см. формулу 1б).

Электрическая мощность $N_{\text{column}}^{(e)}$, поступающая в положительный столб плазменного канала, совместно с мощностями, поступающими в прианодную $N_{\text{anode}}^{(e)}$ и прикатодную $N_{\text{cathode}}^{(e)}$ области лампы, в сумме составляет электрическую мощность $N_{\text{lamp}}^{(e)}$, поступающую в ИКЛ (см. формулу 2), где i_{channel} – мгновенный ток в плазменном канале, U_{lamp} –

квазистабильное напряжение между анодом и катодом ИКЛ.

В свою очередь, входящая в уравнения баланса мощностей (1а), (1б) и (2) электрическая мощность $N_{\text{column}}^{(e)}$, поступающая в положительный столб плазменного канала, связана с электрической проводимостью γ_{column} положительного столба плазменного канала по закону Джоуля – Ленца (см. формулу 3).

Падение электрического напряжения U_{column} между краями положительного столба рассчитывается по формуле (4), где U_{anode} – падение напряжения на прианодной области ИКЛ (ИНПКЛ, ИСПКЛ), U_{cathode} – падение напряжения на прика-

Метод для расчёта мощности, требуемой для ионизации атомов ксенона в расширяющемся неравновесном плазменном канале

Мощность $N_{\text{channel}}^{(i)}$, требуемая для ионизации расширяющегося неравновесного плазменного канала, рассчитывается по формуле (5) с учётом источника литературы [20], где n_e – концентрация свободных электронов в плазме, n_{Ta} – концентрация возбуждённых атомов в плазменном канале, w_e – энергия свободного электрона, V_{channel} – объём плазменного канала, t – текущее время формирования физических процессов, $W_i = 12,1$ эВ – энергия ионизации атома ксенона, $T_{\text{co}} = 6400$ К – электронная температура создания ксеноновой плазмы в газоразрядных лампах типа ИНП-5/45, $k = 1,380662 \times 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, H – длина положительного столба плазменного канала.

По формуле (6) рассчитывается удельная электрическая проводимость σ плазменного канала, определяемая электронной температурой T_e , которая является квазистабильной $T_e \approx T_{\text{co}}$ [5] на стадии расширения канала, где $D = 3,2 \times 10^{-5}$ См/(м·К²).

Выражение для расчёта концентрации свободных электронов n_e в расширяющемся плазменном канале имеет вид формулы (7) из источника литературы [20], где $q_e = 1,6022 \times 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $m_e = 9,1095 \times 10^{-31}$ кг – масса электрона.

Из уравнения Больцмана рассчитывается концентрация n_{Ta} возбуждённых атомов в плазменном канале по формуле (8), где $j_1 = 8,32$ эВ – энергия возбуждения атома ксенона, $G_{a0} = 1$ – статистическая сумма основного состояния

атома, n_{a0} – концентрация атомов ксенона, находящихся в основном состоянии, определяемая соотношением формулы (9), где ρ_{a0} – плотность ксенона в ИКЛ при температуре 300 К и давлении 80 кПа, $\mu = 0,1313$ кг/моль – молярная масса ксенона, $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро.

Статистическая сумма G_{Ta} возбуждённых состояний атома находится из выражения (см. формулу 10), где y – номер энергетического состояния атома, g_{ay} – статистические веса возбуждённых состояний атома: $g_{a0} = 1$, $g_{a1} = 5$, $g_{a2} = 3$, $g_{a3} = 1$, $g_{a4} = 3$, $g_{a5} = 3$, $g_{a6} = 5$, $g_{a7} = 7$, $g_{a8} = 3$, $g_{a9} = 5$.

W_{ay} – энергии термов атома: $W_{a1} = 8,315$ эВ, $W_{a2} = 8,436$ эВ, $W_{a3} = 9,447$ эВ, $W_{a4} = 9,57$ эВ, $W_{a5} = 9,58$ эВ, $W_{a6} = 9,686$ эВ, $W_{a7} = 9,721$ эВ, $W_{a8} = 9,789$ эВ, $W_{a9} = 9,821$ эВ.

Энергия движения W_{Ta} возбуждённого атома ксенона в плазменном канале рассчитывается по формуле (11), где $m_a = 2,18 \times 10^{-25}$ кг – масса атома ксенона, v_a – скорость движения возбуждённого атома ксенона, T_i – ионная температура плазменного канала, $Z_1 = 1,6022 \times 10^{-19}$ Дж/эВ – коэффициент перевода единиц измерения из [Дж] в [эВ].

Энергия основного терма атома W_{a0} показана в формуле (12), где $T_0 = 300$ К – температура окружающей среды, равная температуре стенок колбы ИКЛ.

Расчёт тепловой мощности, расходуемой на нагрев и поддержание температуры неравновесного и равновесного плазменных каналов

На стадии поддержания тока в плазменном канале псевдодежурной дуги и на стадии расширения ксенонового неравновесного плазменного канала, характеризующихся меньшей температурой

ионов и нейтральных атомов относительно температуры электронов ($T_i \ll T_e$), основной вклад в удельную теплоёмкость ксенона даёт газ из тяжёлых частиц. Тепловую мощность $N_{\text{channel}}^{(T)}$ расходуемую на нагрев газового компонента из тяжёлых частиц (ионов и атомов) в расширяющемся плазменном канале, можно представить в виде [20] формулы (13), где $\alpha_{\text{expand}} = 1,087 \times 10^{-3}$ К⁻¹ – коэффициент объёмного расширения плазменного канала, $C_{\text{po}} = 158,3$ Дж/(кг·К) – удельная теплоёмкость ксеноновой плазмы при температурах ксенона, принимающих значения меньшие или равные электронной температуре образования ксеноновой плазмы $T_{\text{co}} = 6400$ К в газоразрядных лампах ИКЛ типа ИНП-5/45 [3–5].

Для взаимосвязи ионной температуры T_i расширяющегося плазменного канала с мгновенной силой тока i_{channel} применена зависимость (14), описанная в источнике литературы [20], где T_{ipda} – установившаяся ионная температура плазменного канала на стадии поддержания тока псевдодежурной дуги, V_{pda} – установившийся объём плазменного канала псевдодежурной дуги, I_{pda} – установившийся ток псевдодежурной дуги.

Объёмная плотность расширяющегося плазменного канала ρ рассчитывается по формуле (15) из источника литературы [20], где m_i – масса иона ксенона.

Стадии увеличения и поддержания температуры ксенонового равновесного плазменного канала характеризуются приблизительно одинаковыми значениями температур ионов T_i , электронов T_e и нейтральных атомов T_a ($T_i \approx T_e \approx T_a \approx T_{\text{pl}}$), равных температуре T_{pl} равновесной плазмы. Тепловую мощность $N_{\text{channel}}^{(T)}$ расходуемую

$$N_{\text{channel}}^{(T)} = C_{v*} \times \rho_* \times V_{\text{channel}*} \times \sqrt{\frac{H}{D \times U_{\text{column}} \times \pi \times r_{\text{channel}}^2}} \times \frac{i_{\text{channel}}^{-0.5}}{2} \times \frac{di_{\text{channel}}}{dt} \quad (16)$$

$$T_{\text{pl}*} = \sqrt{\frac{\sigma^*}{D}} = \sqrt{\frac{H \times i_{\text{channel}}}{D \times \pi \times r_{\text{channel}}^2 \times U_{\text{column}}}} \quad (17)$$

$$N_{\text{channel}}^{(r)} = \frac{4 \times \pi \times h}{c^2} \times \left(\frac{k \times T_e}{h} \right)^4 \times A_T \times S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} \times \int_0^\infty \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \times dx \quad (18)$$

$$N_{\text{lamp}}^{(r)} = \gamma \times \frac{4 \times \pi \times h}{c^2} \times \left(\frac{k \times T_e}{h} \right)^4 \times A_T \times S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} \times \int_{h \times c / (\lambda_2 \times k \times T_e)}^{h \times c / (\lambda_1 \times k \times T_e)} \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \times dx \quad (19)$$

$$A_T = 1 - \exp \left(- \frac{B \times \rho \times R_g \times T_i \times r_{\text{channel}}}{(\mu - b_{\text{cr}}^{(\text{xe})}) \times \rho \times T_e^3} \times \exp \left(- \frac{q_e \times U_{\text{icf}}}{k \times T_e} \right) \right) \quad (20)$$

$$b_{\text{cr}}^{(\text{xe})} = \frac{R_g \times T_{\text{cr}}^{(\text{xe})}}{8 \times P_{\text{cr}}^{(\text{xe})}}$$

на нагрев установившегося и распределённого по объёму равновесного плазменного канала, можно представить в виде формулы (16), описанной в источнике литературы [20], где $V_{\text{channel}*}$ – установившийся объём равновесного плазменного канала, r_{channel} – радиус плазменного канала, H – длина положительного столба плазменного канала, $\rho_* = 4,234 \text{ кг/м}^3$ – объёмная плотность установившегося и распределённого по объёму ксенонового равновесного плазменного канала в газоразрядных лампах ИКЛ типа ИНП-5/45 [3–5], t – текущее время процессов формирования плазменного канала, C_{v*} – удельная теплоёмкость равновесного плазменного канала при постоянном объёме, рассчитываемая по формуле Майера:

$$C_{v*} = C_{p*} - \frac{R_g}{\mu},$$

где C_{p*} – удельная теплоёмкость равновесной ксеноновой плазмы при квазистационарном давлении, $R_g = 8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ – универсальная газовая постоянная, $\mu = 0,1313 \text{ кг/моль}$ – молярная масса ксенона.

Удельная теплоёмкость C_{p*} равновесной ксеноновой плазмы начинает изменяться, когда температура последней превышает электронную температуру образования ксеноновой плазмы T_{eo} . C_{p*} рассчитывается по эмпирической зависимости:

$$C_{p*} = C_{p0} \times \exp(\beta_c \times (T_{\text{pl}*} - T_{\text{eo}})),$$

где $\beta_c = 6 \times 10^{-7} \text{ К}^{-1}$.

Температура T_{pl} ксенонового равновесного плазменного канала рассчитывается по формуле (17) [5], где σ^* – удельная электрическая проводимость положительного столба равновесно-

го плазменного канала, $r_{\text{channel}*}$ – радиус равновесного плазменного канала.

Методы для расчёта мощности излучения ИКЛ и спектрального относительного коэффициента поглощения излучения ксенонового плазменного канала

Выражения (18) и (19), выведенные в источнике литературы [20], для расчёта мощностей излучения плазменного канала $N_{\text{(r)channel}}$ и импульсной ксеноновой лампы $N_{\text{(r)lamp}}$ основаны на формуле Планка для энергетической экспозиции абсолютно чёрного тела и оптическом законе Кирхгофа, связывающем энергетическую экспозицию плазменного канала с его спектральным относительным (безразмерным) коэффициентом A_T , характеризующем поглощательную способность излучения плазменного канала, где $x = h \times c / (\lambda \times k \times T_e)$ – переменная интегрирования, $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка, $c = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$ – скорость излучения, γ – спектральный относительный коэффициент пропускания излучения кварцевых стенок колбы лампы. ИКЛ типа ИНП-5/45 излучают в спектральном диапазоне длин волн λ от $\lambda_1 = 180 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 1100 \text{ нм}$. В этом диапазоне граничных длин волн спектра излучения ламп $\gamma = 0,92$ отн. ед. [3, 4].

Для получения выражения для расчёта спектрального относительного коэффициента поглощения излучения плазменного канала A_T были использованы: закон Бугера – Ламберта – Бера, применённый в работах [3–5], формула Ширмера [4] и уравнение Ван-дер-Ваальса. Выражение, полученное в источнике литературы [20], имеет вид формулы (20), где $B = 7,9 \times 10^{13} \text{ К}^3/(\text{Па} \cdot \text{м})$, $R_g = 8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ – универсальная газовая постоянная, $b_{\text{cr}}^{(\text{xe})}$ – критическая

постоянная для ксенона из уравнения Ван-Дер-Ваальса, $P_{\text{cr}}^{(\text{xe})} = 5,84 \text{ МПа}$ – критическое давление ксенона, $T_{\text{cr}}^{(\text{xe})} = 289,734 \text{ К}$ – критическая температура ксенона, $U_{\text{icf}} = 11,7 \text{ В}$ – эффективное электрическое напряжение ионизации атома ксенона.

Формулы для расчёта площади боковой поверхности $S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})}$ и радиуса r_{channel} расширяющегося плазменного канала определяются с помощью дифференциального закона Ома и имеют вид формул (21) и (22) из источника литературы [20]. Формула для расчёта мощности теплоотдачи $N_{\text{xe}}^{(0)}$, рассеиваемой ксеноновым плазменным каналом в окружающую среду, имеющую температуру T_0 , через граничную область, холодный ксенон и стенки колбы ИКЛ, имеет вид формулы (23), где $\chi_{\text{xe}} = 3 \times 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ – коэффициент теплопроводности ксенона, $\Delta l = 0,2 \text{ мм}$ – толщина граничной области, в которой температура падает от значения ионной температуры плазменного канала T_i до температуры окружающей среды T_0 [5].

Формулы для расчёта площади боковой поверхности $S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})}$ и радиуса r_{channel} установившегося по объёму равновесного плазменного канала, имеют вид:

$$S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} = 2 \times \pi \times r_{\text{channel}*} \times H, \quad r_{\text{channel}*} = r_{\text{icf}} - \Delta l,$$

где $r_{\text{icf}} = 2,5 \text{ мм}$ – радиус внутренней полости колбы газоразрядной лампы ИКЛ типа ИНП-5/45.

Физико-математическое моделирование электрического газового разряда в лампе

Полученные в рассматриваемой энергетической модели выражения (1а), (3), (5), (13), (18), (23) позволяют построить уравнение баланса мощностей для стадии расширения ксенонового неравновесного плазменного канала [20] (см. формулу 24).

Выражения (16), (3), (16), (18), (23), полученные в рассматриваемой энергетической модели, позволяют вывести уравнение баланса мощностей для стадий увеличения и поддержания температуры равновесного плазменного канала (см. формулу 25).

В результате решения системы, состоящей из уравнений (24), (6–12), (14), (15), (19–22), (25), (17), были рассчитаны сопоставляемые с экспериментальными временные зависимости мгновенных токов $i_{\text{channel}}(t)$, протекающих в плазменном канале импульсной ксеноновой лампы ИКЛ: 1. временные зависимости поступающих в ИКЛ мгновенных электрических мощностей $N_{\text{lamp}}^{(\text{e})}(t)$ (2) и мощностей

излучения $N_{\text{lamp}}^{(r)}(t)$ (19) импульсной ксеноновой лампы, результаты моделирования которых сопоставлялись с экспериментальными результатами;

2. сопоставляемые с экспериментальными временные зависимости эффективности преобразования, поступающих в импульсную ксеноновую лампу силовых импульсов электрических мощностей накачки, в импульсы мощностей излучения лампы $N_{\text{lamp}}^{(r)}/N_{\text{lamp}}^{(e)}$ (19), (2);

3. временные зависимости ионизирующих расширяющийся ксеноновый плазменный канал мощностей $N_{\text{channel}}^{(i)}(t)$ (5), нагревающих плазменный канал тепловых мощностей $N_{\text{channel}}^{(T)}(t)$ (13), (16), мощностей излучения $N_{\text{channel}}^{(r)}(t)$ (18) плазменного канала и мощностей теплоотдачи $N_{\text{xc}}^{(o)}(t)$ (23) из плазменного канала в окружающую среду;

4. временные зависимости спектральных относительных коэффициентов поглощения излучения A_{I} (20) плазменного канала.

Во второй части статьи будут представлены результаты экспериментальных измерений и их сопоставление с расчётными данными.

Литература

1. Koechner W. Solid-State Laser Engineering. Sixth revised and updated edition. Springer. 2006. P. 747.
2. ILC Engineering Note No. 152. Use of Xenon Short Arcs as Pulsed Light Sources. ILC Technology.
3. Маршак И. С. Импульсные источники света. Энергия. М. 1978. С. 472.
4. Рохлин Г. Н. Разрядные источники света. Энергоатомиздат. М. 1991. С. 720.
5. Мак А. А., Яшин В. Е., Сомс Л. Н., Фромзель В. А. Лазеры на неодимовом стекле. Наука. М. 1990. С. 288.
6. Mrabet B., Elloumi H., Chammat A., Stambouli M., Zissis G. Effect of a pulsed power supply on the ultraviolet radiation and electrical characteristics of low pressure mercury discharge. Plasma Devices and Operations. 2006. Vol. 14. № 4. P. 249–259.
7. Григорьянц А. Г., Шуганов И. Н., Чирков А. М. Гибридные технологии лазерной сварки. Изд. МГТУ им. Баумана. М. 2004.
8. Рабинович Г. И. Электрические характеристики столба стационарной ксеноновой дуги сверхвысокого давления. Светотехника. 1972. 1975. № 6.
9. Bouslimi L., Stambouli M., Ben Braiek E., Zissis G., Cambromme J. P. High Power Discharge Lamps and Their Photochemical Applications: An Evaluation of Pulsed Radiation.

$$S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} = 2 \times \pi \times r_{\text{channel}} \times H \quad (21)$$

$$r_{\text{channel}} = \sqrt{\frac{H \times i_{\text{channel}}}{\pi \times \sigma \times U_{\text{column}}}} \quad (22)$$

$$N_{\text{xc}}^{(z)} = \chi_{\text{xc}} \times S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} \times \frac{T_{\text{I}} - T_0}{\Delta \ell} \quad (23)$$

$$i_{\text{channel}} \times U_{\text{column}} = \left\{ \frac{n_{\text{e}} \times \left(W_{\text{I}} + \frac{3}{2} \times k \times T_{\text{co}} \right)}{\left(1 + \frac{n_{\text{Ta}}}{n_{\text{e}}} \right)} + \rho \times C_{\text{po}} \times \left(\frac{1}{\alpha_{\text{expand}}} + T_{\text{I}} \right) \right\} \times \frac{H^2}{\sigma \times U_{\text{column}}} \times \frac{di_{\text{channel}}}{dt} + \frac{4 \times \pi \times h}{c^2} \times \left(\frac{k \times T_{\text{co}}}{h} \right)^4 \times A_{\text{T}} \times S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} \times \int_0^\infty \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \times dx + \chi_{\text{xc}} \times S_{\text{channel}}^{(\text{lateral})} \times \frac{T_{\text{I}} - T_0}{\Delta \ell} \quad (24)$$

$$i_{\text{channel}} \times U_{\text{column}} = C_{\text{v}*} \times \rho_* \times V_{\text{channel}*} \times \sqrt{\frac{H}{D \times U_{\text{column}} \times \pi \times r_{\text{channel}}^2}} \times \frac{i_{\text{channel}}^{-0.5}}{2} \times \frac{di_{\text{channel}}}{dt} + \frac{4 \times \pi \times h}{c^2} \times \left(\frac{k \times T_{\text{pl}*}}{h} \right)^4 \times A_{\text{T}*} \times S_{\text{channel}*}^{(\text{lateral})} \times \int_0^\infty \frac{x^3}{\exp(x) - 1} \times dx + \chi_{\text{xc}} \times S_{\text{channel}*}^{(\text{lateral})} \times \frac{T_{\text{pl}*} - T_0}{\Delta \ell} \quad (25)$$

10. Hodgson B. W., Keene J. P. Some Characteristics of a Pulsed Xenon Lamp for Use as a Light Source in Kinetic Spectrophotometry. Rev. Sci. Instr. 1972. № 43. P. 493–496.
11. Schenck G. O. Ultraviolet Sterilization. Handbook of Water Purification. Chichester. Ellis Horwood Ltd. 1981. P. 530–595.
12. Comsol 4.0a Plasma module user guide. Humusoft. URL: <http://www.humusoft.com/produkty/comsol/ru/>.
13. Богданов Е. А., Капустин К. Д., Кудрявцев А. А., Чирцов А. С. Сопоставление различных вариантов гидродинамического (fluid) моделирования продольной структуры микроразряда атмосферного давления в гелии. ЖТФ. 2010. Т. 80. № 10. С. 41–53.
14. Bogdanov E. A., Chirtsov A. S., Kudryavtsev A. A. Fundamental non-ambipolarity of electron fluxes in 2D plasmas. Phys. Rev. Lett. 2011. V. 106. № 19.

15. Чернышёва М. В., Чирцов А. С., Швагер Д. А. Сравнительный анализ плазмохимических моделей для компьютерного моделирования тлеющих разрядов в воздушных смесях. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 6. С. 903–916.
16. Мандрыко Ю. А. Современная электроника. 2015. № 7. С. 64–69.
17. Kushner M. J. Arc expansion in xenon flash lamps. Appl. Phys. 1985.
18. Yongzhong W., Jianqiang Z., Zhixiang Z., Yangshuai L. Radiation model of a xenon flash lamp in a laser amplifier pump cavity. High Power Laser Science and Engineering. 2015.
19. Koch R., Griebner U., Grunwald R. High-Average-Power Flashlamp-Pumped. Nd: Glass Fiber-Bundle Laser. Appl. Phys. 1994. P. 403–407.
20. Мандрыко Ю. А. Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4. № 4. С. 416–427. ©



Кто создаёт ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ РОССИИ?

интервью участников
ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫСТАВОК

СМОТРИТЕ НА КАНАЛЕ «СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Формальный дедуктивный анализ автоматного алгоритма управления генератором эндогаза с помощью платформы Rodin

Часть 1. Определение требований надёжности и безопасности работы генератора эндогаза

Максим Нейзов (neyzov.max@gmail.com)

Формальный дедуктивный анализ представляет собой строгий математический подход к верификации алгоритмов: алгоритм описывается с помощью аксиом, а требуемые свойства доказываются как теоремы. Цель представленного анализа – доказать соответствие алгоритма управления предъявляемым требованиям надёжности и безопасности. В статье описывается технологический процесс генерации эндогаза и определяются предъявляемые к нему требования надёжности и безопасности.

Введение

К программному обеспечению ответственных систем управления предъявляются серьёзные требования по безопасности. Для гарантии соответствия программ требованиям применяются формальные методы верификации и специальные инструментальные средства. В статье представлен формальный дедуктивный анализ автоматного алгоритма управления на предмет его соответствия требованиям безопасности технологического процесса генерации эндогаза. Данный анализ представляет собой строгий математический подход к исследуемой проблеме: математическая модель алгоритма строится на базе

системы аксиом, а свойства безопасности доказываются как теоремы. Платформа Rodin [1] используется как средство автоматизации доказательства теорем.

В первой части статьи определяются требования надёжности и безопасности технологического процесса. Во второй – представлена платформа Rodin и автоматный алгоритм управления генератором. В третьей – выполняется построение формальной теории для алгоритма управления: алгоритм описывается с помощью аксиом, формализуются требования, которые должны быть доказаны как теоремы, демонстрируется доказательство теоремы.

Технологический процесс генерации эндогаза

Эндогаз используется в промышленной термообработке для насыщения стали углеродом. Эндогазовая установка предназначена для получения эндогаза. Химическая реакция приготовления эндогаза осуществляется в генераторе, который входит в состав установки. Схема генератора эндогаза изображена на рисунке 1. Генерация эндогаза имеет следующую технологию: исходная газовоздушная смесь (далее газ) проходит через катализатор реторты и под воздействием температуры $+1050^{\circ}\text{C}$ в результате химической реакции преобразуется в эндогаз. Далее происходит его охлаждение в холодильнике. Генератор имеет два канала: канал реторты R1 и канал реторты R2. В работе может находиться только один канал, второй канал – на восстановлении катализатора. Восстановление осуществляется чистым воздухом. Перед генерацией реторта должна продуваться газом в течении определённого времени.

В компрессорный блок входят компрессоры K1, K2 и клапаны V1, V2. Для подачи газа в реторты R1/R2 открывается клапан V1 и включается компрессор K1, создавая давление в линии Л1. Для подачи воздуха в реторты R1/R2 включается компрессор K2, создавая давление в линии Л2. При поломке компрессора K2 генерация эндогаза прекращается, и продувка реторт воздухом осуществляется с помощью компрессора K1. Для этого закрывается клапан V1 и открывается клапан V2.

Клапаны реторт V3...V10 предназначены для управления потоками через реторты R1/R2. Клапаны V4 и V6 предназначены для подачи воздуха в реторты. Клапаны V3 и V5 предназначены для подачи газа в реторты, а также воздуха в случае отказа компрессора K2. Клапаны V7 и V8 предназначены для подачи горячего эндогаза в линию Л3. Клапаны V9 и V10 предназначены для продувки реторт на свечу.

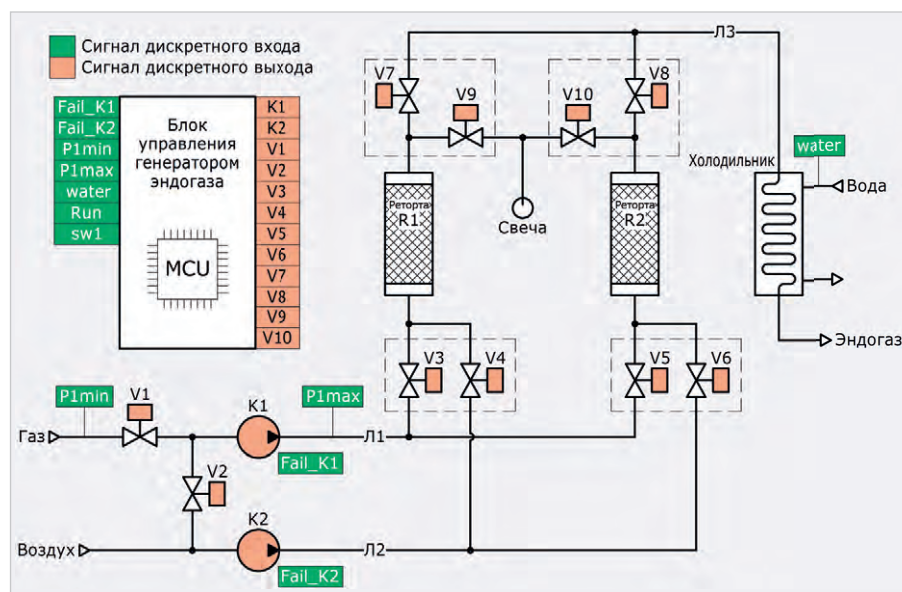


Рис. 1. Схема генератора эндогаза

Система управления генератором эндогаза

Блок управления генератором эндогаза (см. рис. 1) построен на базе микроконтроллера (MCU), программируемого на языке C. Блок управления имеет дискретные входы и выходы. Сигналы Fail_K1/Fail_K2 – неполадка компрессоров K1/K2 – устанавливаются системой диагностики. Сигнал P1min – низкое давление газа на входе – и сигнал P1max – высокое давление в линии Л1, блок управления получает от реле давления. Сигнал water – наличие потока воды через холодильник – блок управления получает от реле потока. Сигнал Run – запустить генератор эндогаза – и сигнал sw1 – переключить на реторту R1 – блок управления получает от смежной системы эндогазовой установки. Блок управления выдает сигналы K1/K2 на электроприводы компрессоров, а также сигналы V1...V10 – электромагниты соответствующих клапанов. Оборотное генератора работает только при наличии сигнала Run. Если установлен сигнал sw1, то включается реторта R1, иначе включается реторта R2. Перед включением в работу реторта обязательно продувается газом. До включения реторты в работу противоположная реторта продолжает производить эндогаз. Отключённая реторта продувается воздухом. Компрессор K2 работает только при отсутствии неполадки Fail_K2. Компрессор K1 работает только при разрешении генерации эндогаза. Генерация эндогаза разрешена, если нет сигналов P1min, P1max, Fail_K1 и есть сигнал water. При отключении одного из компрессоров обе реторты продуваются воздухом.

Требования надёжности и безопасности

Генерация эндогаза сопровождается следующими опасными производственными факторами: высокой температурой, ядовитостью и взрывоопасностью эндогаза. В связи с этим к генератору и его программному обеспечению предъявляются повышенные требования (REQ1...REQ16) по надёжности и безопасности.

Первая группа требований относится к работе клапанов.

REQ1: Клапаны V1 и V2 никогда не открыты одновременно.

Одновременное открытие клапанов V1 и V2 приведёт к смешиванию газа и воздуха. Попадание воздуха в исходный газ негативно скажется на технологических параметрах эндогаза. Попадание газа в воздушный тракт сделает невозможным восстановление катализатора реторт.

REQ2: Клапаны V3 и V4 никогда не открыты одновременно.

Одновременное открытие клапанов V3 и V4 также приведет к смешиванию газа и воздуха при работающих компрессорах. При отключении одного из компрессоров может произойти переток, что приведет к снижению расхода через реторту. Аналогичное требование к работе клапанов V5 и V6.

REQ3: Клапаны V5 и V6 никогда не открыты одновременно.

REQ4: Клапаны V7 и V9 никогда не открыты одновременно.

Если реторта R1 производит эндогаз, то одновременное открытие клапанов V7 и V9 приведет к выбросу эндогаза на свечу и резкому снижению производительности генератора. Если реторта R1 продувается воздухом, то одновременное открытие клапанов может привести к попаданию воздуха в линию Л3 и **взрыву** эндогаза. Аналогичное требование к работе клапанов V8 и V10.

REQ5: Клапаны V8 и V10 никогда не открыты одновременно.

REQ6: Снятие сигнала Run закрывает все клапаны.

Несанкционированное открытие клапанов может привести к аварийной ситуации.

Вторая группа требований относится к работе компрессоров.

REQ7: Компрессор K1 работает только при наличии разрешения генерации эндогаза.

Несанкционированное включение газового компрессора может привести к аварийной ситуации. Аналогичное требование для компрессора K2.

REQ8: Компрессор K2 работает только при наличии разрешения его работы.

REQ9: Воздушный компрессор K2 перекачивает только воздух.

Попадание газа в линию Л2 приведёт к невозможности восстановления катализатора реторт.

REQ10: Компрессор K1 перекачивает или газ, или воздух, но не их вместе.

Одновременная перекачка газа и воздуха приведёт к невозможности восстановления катализатора реторт и генерации эндогаза с заданными параметрами.

REQ11: Компрессоры K1 и K2 никогда не перекачивают одно и то же вещество.

Одновременная подача в линии Л1 и Л2 одного и того же вещества приведёт к невозможности правильной работы одного из каналов генератора.

REQ12: Снятие сигнала Run отключает компрессоры.

Несанкционированное включение компрессоров может привести к аварийной ситуации.

Третья группа требований относится к потокам веществ.

REQ13: Эндогаз не может подаваться в холодильник из двух реторт одновременно.

Одновременная генерация эндогаза двумя ретортами приведёт к останову генератора после выработки ресурса катализаторов. Поэтому хотя бы одна реторта должна быть на восстановлении катализатора, чтобы заменить реторту, выработавшую свой ресурс. Таким образом обеспечивается бесперебойность работы генератора.

REQ14: В линии Л3 никогда нет воздуха.

Попадание воздуха в линию Л3 может привести к **взрыву** эндогаза.

REQ15: При подаче газа всегда открыт газовый тракт через реторту.

Отсутствие газового тракта через реторту приведёт к прекращению подачи газа, т.е. компрессор K1 будет работать в упор на закрытый клапан. Работа в данном режиме запрещена.

REQ16: Газ подаётся на две реторты и одна из них работает на холодильник тогда и только тогда, когда первая реторта находится в рабочем режиме, а вторая – в режиме продувки газом.

Данное требование устанавливает соответствие режимов работы фактическим действиям.

Для безаварийной работы генератора эндогаза требования REQ1...REQ16 должны гарантированно соблюдаться. Тестирование не может гарантировать соблюдение данных требований – для этого необходимы формальные методы верификации. Для доказательства корректности алгоритма управления относительно данных требований выполняется формальный дедуктивный анализ.

Заключение

В статье рассмотрен технологический процесс генерации эндогаза и определены предъявляемые к нему требования надёжности и безопасности. Алгоритм управления технологическим процессом должен соответствовать этим требованиям. Для гарантии соответствия необходим формальный анализ алгоритма. Во второй части статьи будет рассмотрена платформа Rodin и автоматный алгоритм управления генератором.

Литература

1. Rodin Handbook. URL: www3.hhu.de/stups/handbook/rodin



Разработка печатных плат высокоскоростных цифровых схем средствами САПР Delta Design

Сергей Попов (popov.sn@eremex.ru)

В статье рассказывается о возможностях САПР Delta Design v3.0 при проектировании печатных плат высокоскоростных цифровых схем. Особое внимание уделяется таким вопросам, как формирование групп сигналов и корректный учёт длин печатных проводников.

Введение

При проектировании печатных плат (ПП), предназначенных для передачи высокоскоростных сигналов между цифровыми микросхемами устройства, инженерам-конструкторам приходится решать ряд специфических задач. Одной из таких задач является синхронизация цифровых сигналов. Применительно к САПР ПП решение задачи одновременной доставки сигнала от источника к приёмнику разбивается на ряд последовательных шагов. Первый шаг – это создание полного описания библиотечного представления цифровых микросхем. Учёт таких параметров, как тип контакта и задержка на контакте. Второй шаг – формирование групп высокоскоростных сигналов в схемотехническом редакторе. Третий шаг – задание ограничений на длину соответствующих печатных про-

водников в редакторе правил. И четвёртый шаг – трассировка проводников с попаданием в доверительный временной интервал в редакторе ПП. Все эти шаги быстро осуществляются с помощью инструментария, ставшего доступным пользователям в версии 3.0 САПР Delta Design.

Шаг 1. Библиотечное представление цифровых микросхем

На этапе создания библиотечного описания компонента пользователю предлагается заполнить типы контактов и ввести значение задержки распространения сигналов (см. рис. 1). Типы контактов помогают контролировать правильность подключения компонентов на схеме. Если инженер-схемотехник соединил несовместимые контакты микросхем, то ERC-проверка (проверка

электрических правил) найдёт и проинформирует пользователя об этом. Также типы контактов используются системой при автоматическом формировании нового объекта «сигнал». Об этом подробнее будет рассказано далее. В столбце «Задержка» вводится значение длины пути, который цифровой сигнал проходит внутри и снаружи корпуса микросхемы. Значение задержки на контакте учитывается при расчёте общей длины пути, по которому сигнал распространяется на ПП.

Шаг 2. Цепь, сигнальная цепь, сигнал, группа сигналов

После создания схемы будущего устройства и запуска ERC-проверки в схемотехническом редакторе нужно задать четыре типа системных объектов: «цепь» → «сигнальная цепь» → «сигнал» → «группа выравнивания сигналов». Указанные объекты логически связаны друг с другом и отображаются в панели «Менеджер проекта» (см. рис. 2). В панели происходит и основное редактирование объектов: добавление, удаление, переименование, навигация к объектам в рабочем окне проекта.

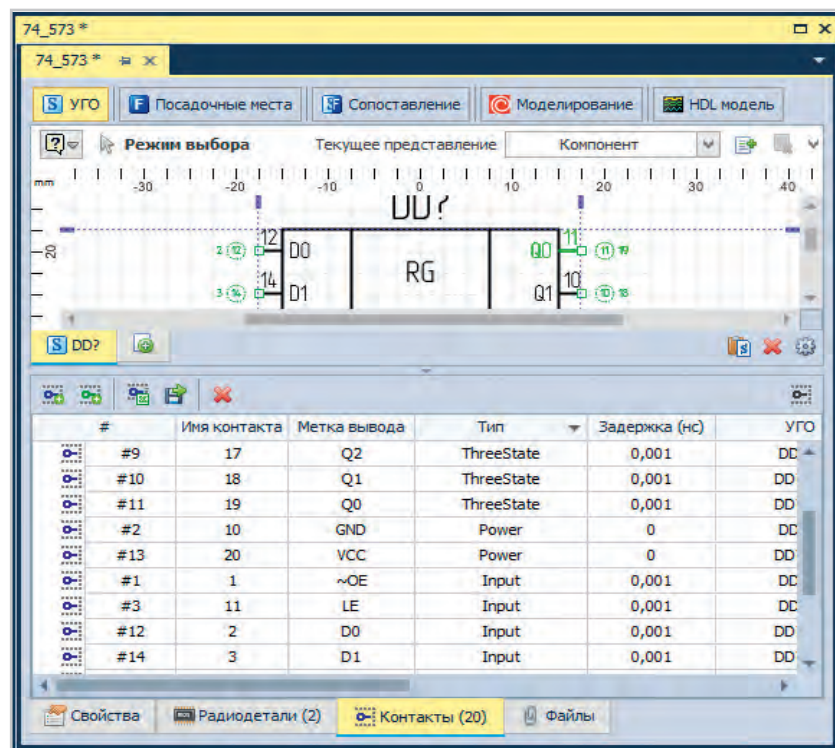


Рис. 1. Редактор компонентов. Вкладка «Контакты»

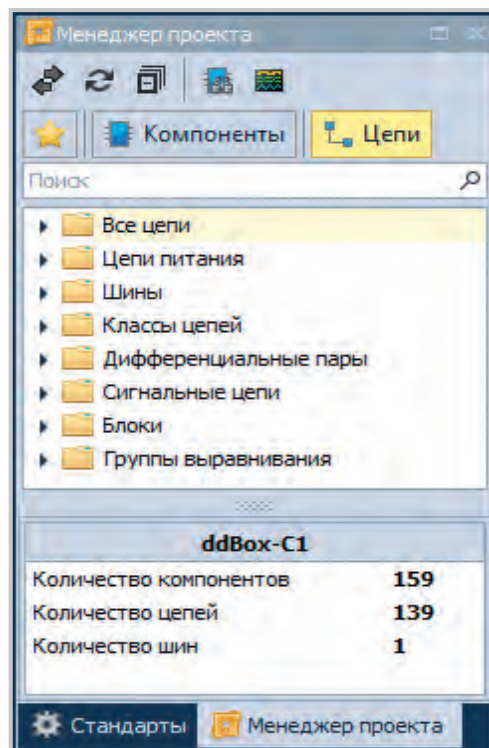


Рис. 2. Менеджер проекта



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 TopoR
- HDL-симулятор
- Коллективная работа для предприятий

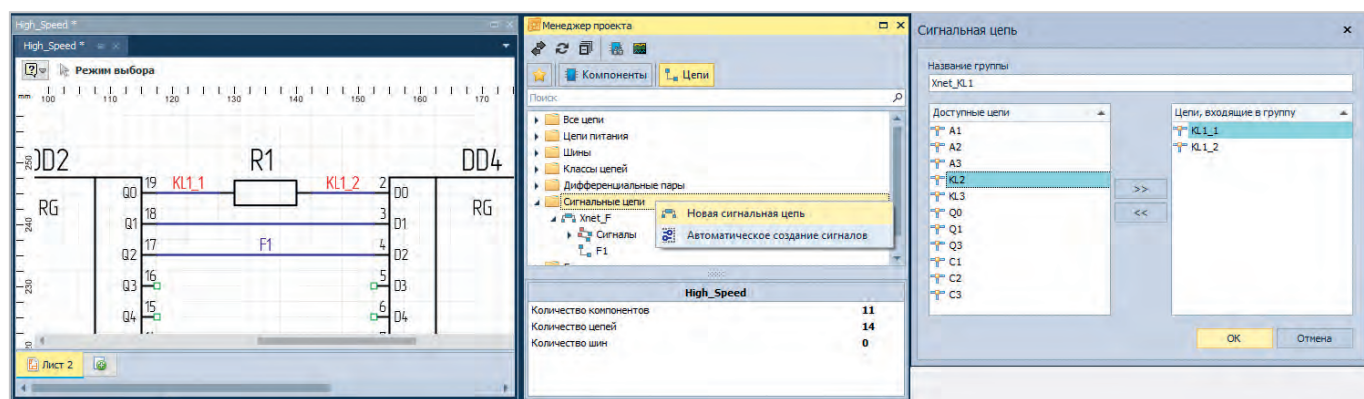


Рис. 3. Создание и редактирование сигнальной цепи: фрагмент схемы, менеджер проекта, окно создания новой сигнальной цепи

Цепь. Цепь автоматически назначается каждому электрическому соединению, с помощью которого инженер-схемотехник объединяет выходы и входы различных компонентов на схеме. Каждая новая цепь схемы добавляется в общий список «Все цепи». Если цепь дополнительно помечается как цепь питания или если добавляется в шину, класс цепей, дифференциальную пару, то она также дублируется в соответствующих узлах «Цепи питания», «Шины», «Классы цепей», «Дифференциальные пары» (см. рис. 2).

Сигнальная цепь. В отличие от обычной цепи сигнальная цепь не появляется в системе сразу, а требует дополнительных операций по своему формированию. В иностранных САПР аналогом сигнальной цепи является расширенная или составная цепь (от англ. Extended net – Xnet). В общем случае сигнальная цепь является объединением n-го количества обычных цепей. В сигнальную цепь объединяются обычные цепи, по которым происходит распространение цифрового сигнала. Цепи питания в сигнальную цепь не добавляются. При этом обычные цепи могут объединяться через пассивные компоненты: резисторы, конденсаторы, индуктивности.

Создавая сигнальную цепь, пользователь формирует возможную область распространения цифрового сигнала. Под областью подразумеваются списки цепей и контактов компонентов, которые объединены данными цепями.

На рисунке 3 показан фрагмент схемы из двух цифровых микросхем с позиционными обозначениями DD2 и DD4. Чтобы показать область, в которой происходит распространение цифрового сигнала, в менеджере проекта была создана новая сигнальная цепь «Xnet_KL_1». При создании сигнальной цепи была сформирована следующая последовательность объектов:

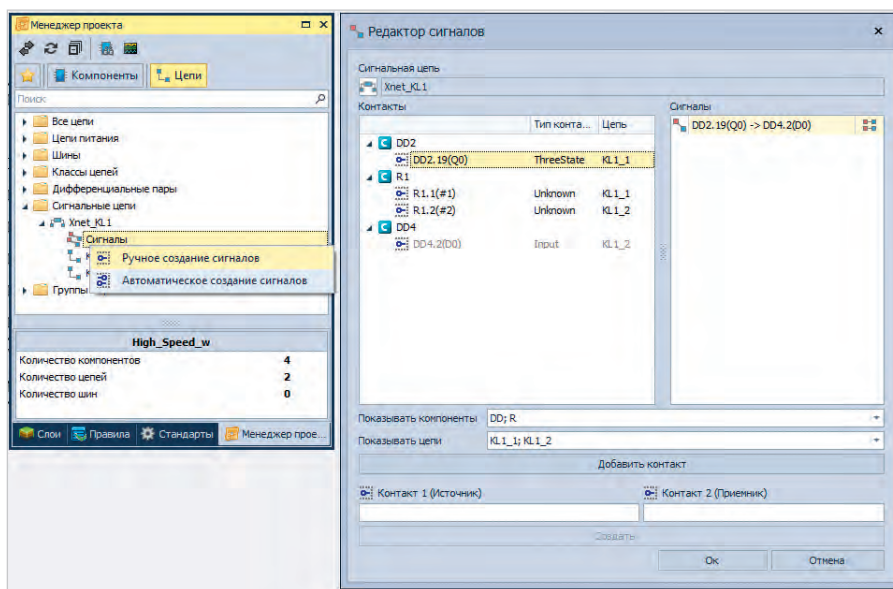


Рис. 4. Менеджер проекта. Создание сигналов

контакт DD2.19 → цепь «KL1_1» → контакт R1.1 → резистор R1 → контакт R1.2 → цепь «KL1_1» → контакт DD4.2.

Сигнал. Объект «сигнал» располагается внутри сигнальной цепи и создаётся с помощью команд «Ручное создание сигналов» или «Автоматическое создание сигналов» (см. рис. 4). Если применяется ручное создание, то в «Редакторе сигналов» последовательно выбираются два контакта. Первым выбирается контакт «источник сигнала», вторым – «приёмник сигнала». В приведённом ранее примере это два контакта: DD2.19 (Q0) и DD4.2 (D0) (см. рис. 4)

Отличие сигнала от сигнальной цепи. Для понимания отличия сигнала от сигнальной цепи обратимся к рисунку 5. На рисунке показан фрагмент схемы, на котором цифровой сигнал с выхода микросхемы DD5 подаётся на входы микросхем DD1 и DD6. Если проследить последовательность компонентов и обычных цепей, через которые происходит логическое распространение цифрового сигнала, то можно увидеть три цепочки:

1. контакт DD5.19 → цепь «FF1_1» → контакт R2.1 → резистор R2 → контакт R2.2 → цепь «FF1_2» → контакт R3.1 → резистор R3 → контакт R3.2 → контакт DD1.1.1;
2. контакт DD5.19 → цепь «FF1_1» → контакт R2.1 → резистор R2 → контакт R2.2 → цепь «FF1_2» → контакт DD6.2;
3. контакт DD5.19 → цепь «FF1_1» → контакт R2. → резистор R2 → контакт R2.2 → цепь «FF1_2» → контакт DD6.6.

В такой сложной схеме подключения цифровых и пассивных компонентов сигнальная цепь «Xnet_FF_1» предоставляет пользователю возможность указать все пути распространения сигнала. Однако чтобы осуществлять в дальнейшем контроль над каждым цифровым сигналом по отдельности, в системе нужен дополнительный объект. Роль такого объекта и выполняет сигнал. У сигнала также есть другое название – пин-пара (от англ. pin-pair). Вместо длинных последовательностей, представленных ранее, получается следующий набор сигналов (см. рис. 5):

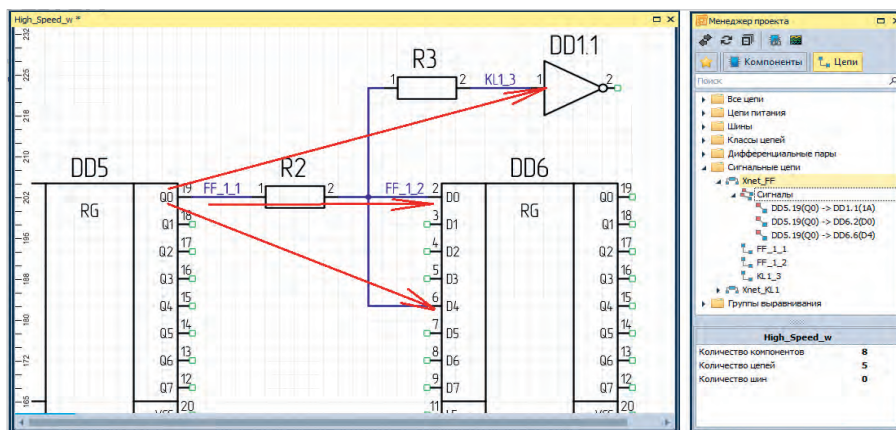


Рис. 5. Сигналы в сложных схемах

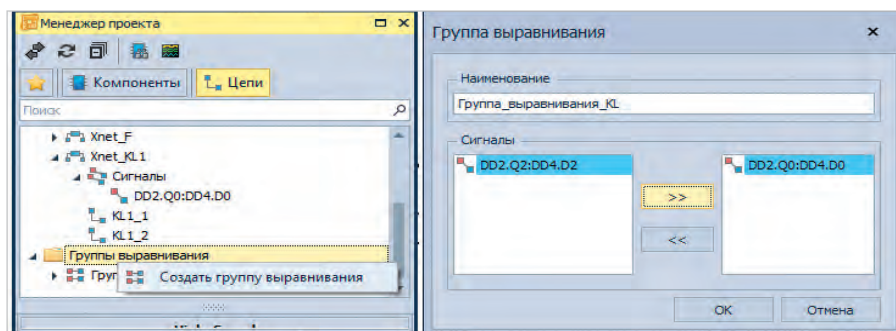


Рис. 6. Менеджер проекта. Группа выравнивания

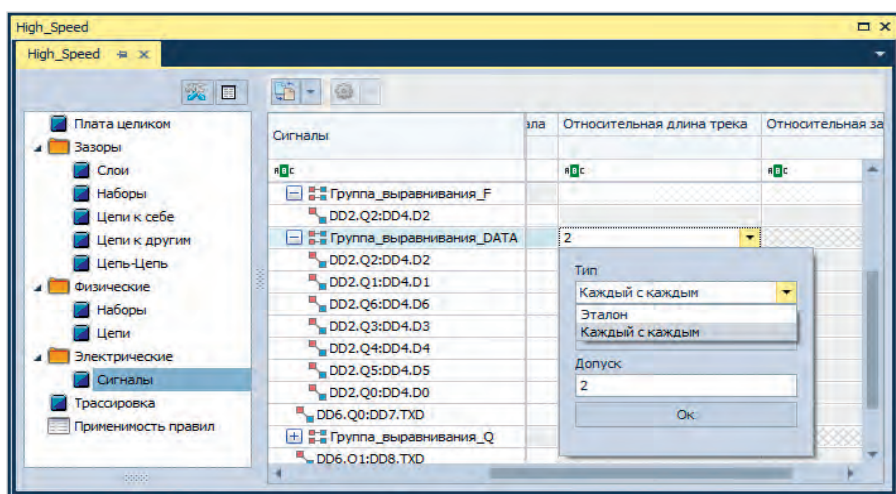


Рис. 7. Редактор правил. Раздел «Электрические»

1. DD5.19 (Q0) → DD1.1 (1A);
2. DD5.19 (Q0) → DD6.2 (D0);
3. DD5.19 (Q0) → DD6.6 (D0).

Контроль создания сигнальных цепей и сигналов

Для того чтобы упростить процесс выбора нужной цепи и избежать создания неправильных сигнальных цепей, в системе существует ряд вспомогательных контролирующих механизмов. Например, все цепи из узла «Цепи питания» (см. рис. 2) фильтруются и не отображаются в списке доступных цепей окна «Сигнальная цепь» (см. рис. 3). Так-

же из списка доступных будут исключены все цепи, которые уже входят в состав других сигнальных цепей.

В системе также реализована возможность автоматического создания сигналов. Если пользователь выбирает данную команду (см. рис. 4), то все описанные операции ручного создания сигналов за него будут сделаны в автоматическом режиме. Это позволяет экономить время на создание сигналов в больших сложных схемах. Однако эффективно и правильно автоматическое создание будет работать только в том случае, если изначально были определены типы каждо-

го из контактов микросхем (см. рис. 1). Система создаст сигналы автоматически только в тех случаях, когда в сигнальной цепи присутствуют контакты с типом «Выход» и «Вход». Также автоматическое создание будет возможно, если в сигнальной цепи присутствуют контакты с типом «Выход» и «Двунаправленные». Если эти условия не будут выполнены, то автоматического создания сигналов не произойдет, а в панели «Журналы» будет сформировано информационное сообщение. В сообщении будут указаны типы контактов, которых не хватает в конфигурации сигнальной цепи.

Если на схеме используется цифровая микросхема без описания типа контакта, то определить тип возможно в схемотехническом редакторе. Другой способ – обновление библиотечного представления компонента и последующая синхронизация схемы и библиотеки.

Группа выравнивания

Аналогично тому, как инженеры объединяют цепи, печатные проводники которых схожи по своим физическим характеристикам (допустимым ширине и зазорам между ними), в классы цепей, все созданные сигналы также могут быть объединены в «группы выравнивания». Чтобы создать новую группу выравнивания сигналов, в панели «Менеджер проекта» необходимо выбрать папку «Группы выравнивания» и вызвать контекстное меню (см. рис. 6). В открывшемся диалоговом окне в поле «Наименование» вводится имя группы, и из общего списка всех сигналов формируется короткий список, отражающий специфику группы. Например, сигналы данных, адресов и т.д.

Шаг 3. Временные ограничения

В редакторе правил в разделе «Электрические» → «Сигналы» представлен полный список сигналов и их групп выравнивания, созданный на предыдущем шаге. Временные ограничения в редакторе правил задаются двумя способами: ограничения накладываются на распространение каждого сигнала в отдельности или на группу сигналов. Ограничения на конкретный сигнал задаются в абсолютных величинах (мм или пс). Ограничения в группе задаются либо через сравнение каждого сигнала с каждым, либо через сравнение с эталоном. Доверительный интервал, в который должны попадать длины печатных проводников, также задается в мм или пс (см. рис. 7).

Как задержки задаются в системе

Электрическое распространение сигнала от источника к приёмнику осуществляется не только по медным печатным проводникам на плате. В многослойных платах путь распространения сигнала может значительно увеличиваться за счёт межслойных переходов. Необходимо также учитывать и габаритные размеры корпусов микросхем.

В системе Delta Design задержка распространения сигнала, обусловленная габаритными размерами корпуса, может быть определена в двух местах. Как уже упоминалось, значение задержки можно указать на этапе создания библиотечного представления компонента (см. рис. 1). Если величина задержки является значительной и ею нельзя пренебречь, а библиотечное описание компонента не содержит данного значения, то существует возможность отредактировать величину задержки непосредственно в схемотехническом редакторе. Для этого необходимо выбрать контакт или группу контактов на УГО компонента, а в панели «Свойства» → «Задержки» ввести требуемую величину.

Задержка сигнала, обусловленная геометрическими размерами контактной площадки (КП), вычисляется системой автоматически. Задержка зависит от того, каким способом трек был подключён к КП. Если трек был подключён к центру КП, то габаритные размеры КП не учитываются. Если же при прокладке печатного проводника пользователь выбирает режим подключения по периметру КП, то происходит вычисление кратчайшего пути от места подключения трека до центра КП.

Также автоматически в системе учитываются задержки, связанные с переходом сигнала с одного слоя на другой. Важным здесь является правильное формирование стека слоёв разрабатываемой платы. Для этого в системе реализован редактор слоёв, в котором разработчик может отобразить реальную конструкцию платы и учесть толщину каждого слоя.

Шаг 4. Трассировка печатных проводников

Способы трассировки высокочастотных цепей во многом зависят от навыков и опыта инженера-конструктора печатных плат. Однако в общем случае можно предположить, что трассировка будет происходить в несколько этапов: выбор группы сигналов, подсветка их в проекте платы, проведение трексов с одновременным выравниванием дли-



Рис. 8. Шкала длин. Режим прокладки трексов

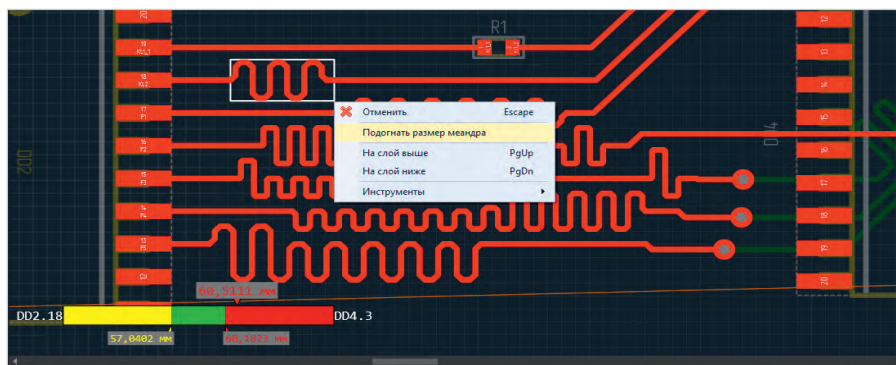


Рис. 9. Инструмент «Меандр»

ны, корректировка длины ранее проложенных трексов.

В «Менеджере проекта» и «Редакторе правил» реализована возможность выбора и подсветки группы сигналов на схеме и плате, что позволяет быстро находить нужную группу сигналов и работать с ними.

В процессе интерактивной трассировки в рабочем окне проекта отображается специализированная шкала длин сигналов (см. рис. 8). Включение и выключение отображения шкалы длин происходит на панели управления: «Редактор печатных плат» → «Трассировка» → «Отображать шкалу длины трека». Шкала состоит из трёх зон. Жёлтая зона говорит о том, что длина трека не укладывается в допустимый диапазон длин, зелёная зона – трек попадает в доверительный интервал, в котором задержки соответствуют допуску, красная зона – длина трека выходит за допустимый диапазон длин (см. рис. 8).

Кроме расцветочных зон на шкале также отображается и дополнительная информация: сверху отображается бегунок с меткой текущей длины трека, снизу отмечаются границы доверительного интервала, также на шкале отображаются имена источника и приёмника сигнала (см. рис. 8).

Использование меандров

Вероятность того, что все трексы сигналов уложатся в доверитель-

ный интервал с первого раза, крайне мала. Поэтому в Delta Design реализован специализированный инструмент выравнивания – «Меандр». Данный инструмент позволяет пользователю нарисовать описывающий прямоугольник, внутри которого формируется меандр. Одновременно с построением меандра на трек в проекте также отображается и шкала контроля длины трека. Размер и форма меандра определяются размером и формой описывающего прямоугольника.

Так как построение полуволн меандра осуществляется дискретно, то для подгонки длины трека и попадания в зелёную зону в системе реализована команда «Подогнать размер меандра». Перед вызовом данной команды рекомендуется сформировать меандр с небольшим превышением длины, чтобы бегунок текущей длины на шкале контроля вышел за диапазон зелёной зоны и попал в красную зону. Вызов команды приведёт к тому, что система перестроит меандр так, чтобы длина трека попала точно в середину зелёной зоны (см. рис. 9).

Запуск DRC-проверки

Для того чтобы убедиться в правильности созданной топологии печатных проводников, необходимо выполнить DRC-проверку платы. Проверка может быть запущена по всем объектам платы или же только по тем, которые были

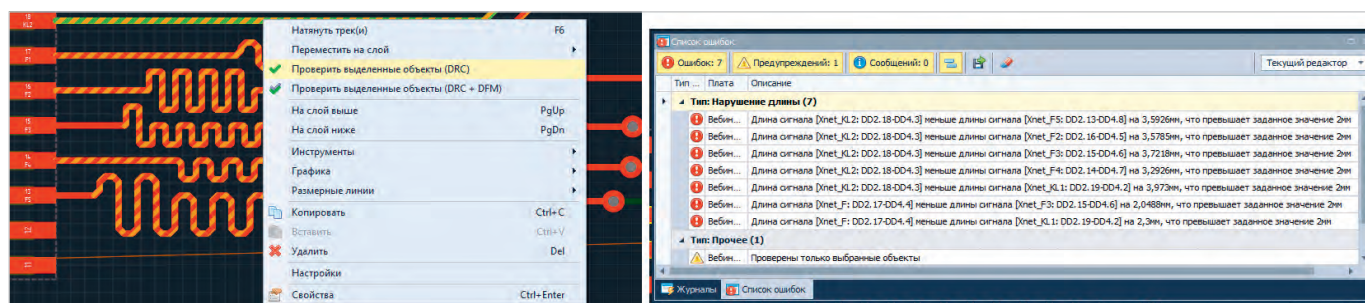


Рис. 10. DRC-проверка выбранных трексов

предварительно выбраны (см. рис. 10). Если длины трексов цепей не укладываются в заданный диапазон, то в панели «Список ошибок» будет сформирован список с нарушениями длины.

После размещения на трексе меандр продолжает оставаться единым объектом. Это позволяет быстро изменять размеры описывающего его прямоугольника и количество полувольт внутри прямоугольника. Тем самым можно быстро увеличивать или уменьшать сум-

марную длину всего трека. В системе реализован быстрый переход из панели «Список ошибок» в рабочее окно редактора ПП. Анализируя список ошибок и переключаясь между панелью ошибок и рабочим окном редактора ПП, разработчик может переходить к нужному треку (см. рис. 10) для его редактирования.

Заключение

В системе Delta Design версии 3.0 реализован широкий набор инстру-

ментов, который позволяет пользователям быстро разрабатывать проекты печатных платы высокоскоростных цифровых устройств. Успех применения разработанного инструментария во многом определяется выполнением рекомендаций для каждого этапа проектирования платы: создание библиотечного представления компонента, создание сигналов, наложение временных ограничений, выравнивание длин трексов.



НОВОСТИ МИРА

GS GROUP ЗАПУСТИТ САМОЕ МАСШТАБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СВЕТОДИОДОВ В РФ

Холдинг GS Group запускает на базе собственного микроэлектронного предприятия GS Nanotech (в составе инновационного кластера «Технополис GS», г. Гусев Калининградской области) направление по корпусированию светодиодов. Это максимально возможный на текущий момент уровень локализации такого производства в РФ. Этап прототипирования светодиодов уже завершён.



В 1 квартале 2021 года планируется поставка оборудования, пусконаладочные работы и отработка процессов, связанных с

запуском крупносерийного производства. Во 2–3 кварталах 2021 года предприятие планирует выйти на крупносерийное производство с мощностями до 145 млн штук в год. К этому моменту холдинг планирует инвестировать в производство более 300 млн рублей.

Ассортимент продукции будет включать светодиоды в трёх основных типах корпусов: светодиоды типов 2835, 3030 и 5050, которые в совокупности сейчас составляют более 95 процентов российского рынка светотехники.

«Российский рынок светодиодного освещения остро нуждается в отечественных компонентах, а также в развитии конкуренции в части локализации компонентной базы. Благодаря накопленным компетенциям в крупносерийном производстве микроэлектронной продукции для потребительского рынка, мы можем быстро и рационально с точки зрения инвестиций развернуть новое направление. Наши мощности позволяют удовлетворить более 50 процентов госсектора в качественных светодиодах. Мы открыты к сотрудничеству со всеми производителями светильников и готовы предложить прозрачные условия партнерства», — отметил руководитель департамента стратегических проектов GS Group, член правления АПСС Андрей Мартынов.

Объём российского рынка светодиодного освещения по состоянию на 2019 г.

оценивается в 58,9 млрд рублей, что составляет долю немногим больше 1% от объёма мирового рынка (данные Lighting Business Consulting). Министерство энергетики РФ оценивает рынок государственных контрактов, в рамках которых должна проводиться замена традиционных источников света на светодиодное освещение, в 442 млрд руб. Данная оценка предполагает, что государственные контракты будут реализовываться постепенно на протяжении 10 лет (с 2017 года). Сегодня порядка 35–40 процентов осветительных систем в РФ заменены на светодиодные, при этом государственная программа по модернизации освещения и замене светильников на диодные выполнена примерно на 25–30 процентов.

В общей стоимости светового оборудования стоимость светодиода занимает 7,5%. Таким образом, рынок светодиодов России в стоимостном выражении можно оценить в 3,3 млрд руб. в год или 0,843 млрд штук в натуральном выражении. Анализ рынка государственных закупок показал, что государственные контракты на замену осветительных приборов составляют треть от общего объёма рынка (в стоимостном выражении). При этом, по оценкам АПСС, текущие мощности отечественных производителей светодиодов в совокупности не превышают 45 млн единиц в год.

Пресс-релиз GS Group

Сравнительные испытания ограничителей импульсных напряжений для защиты электронного оборудования энергосистем от электромагнитного импульса высотного ЯВ

Владимир Гуревич (vladimir.gurevich@gmail.com)

Различные типы ограничителей импульсных напряжений (ОИН), имеющиеся на рынке, существенно отличаются друг от друга как по техническим характеристикам, так и по стоимости. Наряду с экранированием монтажных шкафов с электронной аппаратурой и кабелей, эти элементы являются одним из основных средств защиты от электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва. При этом предполагается применение десятков этих элементов для защиты различных цепей внутри одного монтажного шкафа. Таким образом, вопрос о выборе для практического применения тех или иных видов ОИН (отличающихся по стоимости в сотни раз) является очень актуальным.

Введение

Ограничители импульсных напряжений являются одним из основных средств защиты электронного оборудования от таких мощных и опасных воздействий, как разряд молнии и электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ). На рынке широко представлены три основных вида таких ограничителей: газовые раз-

рядники, оксидно-цинковые варисторы и TVS-диоды. Все эти виды ограничителей импульсных напряжений хорошо зарекомендовали себя в качестве средств защиты от грозовых разрядов и коммутационных перенапряжений и широко применяются на практике. Однако что касается защиты от ЭМИ ЯВ, то здесь ситуация несколько сложнее в связи с тем, что стандартный компонент

Е1 ЭМИ ЯВ очень короткий – 2,5...25 нс, в отличие от стандартного грозового импульса 1,2...50 мкс. То есть ЭМИ ЯВ примерно в 1000 раз короче грозового импульса, и поэтому к ограничителям импульсных напряжений, предназначенным для защиты от ЭМИ ЯВ, предъявляются особые требования по быстродействию. Среди специалистов существует консенсус относительно непригодности газовых разрядников для защиты от ЭМИ ЯВ из-за их недостаточного быстродействия и резкого возрастания напряжения пробоя с увеличением скорости нарастания приложенного напряжения (т.е. крутизны переднего фронта импульса) [1]. Однако что касается варисторов и TVS-диодов, то здесь нет однозначного мнения. Многими специалистами высказывается мнение о том, что обычные варисторы имеют недостаточное быстродействие для защиты от ЭМИ ЯВ, и только TVS-диоды обладают требуемыми характеристиками. Действительно, современные мощные TVS-диоды, способные пропускать импульсные токи от 3 до 10 кА, по ряду параметров превосходят аналогичные по мощности варисторы. К сожалению, это превосходство не ограничивается лишь техническими параметрами. TVS-диоды более чем в 200 раз превосходят по стоимости варисторы такой же мощности и класса по напряжению. Когда речь идёт о нескольких десятках ограничителей импульсных напряжений, необходимых для защиты лишь одного стандартного шкафа с электронной аппаратурой [1], то такая серьёзная разница в стоимости является весьма существенным фактором, влияющим на выбор того или иного средства защиты от ЭМИ ЯВ. В связи с чем возникает вопрос о том, насколько существенна разница в быстродействии варисторов и TVS-диодов, и оправдывает ли она такую огромную разницу в стоимости. При этом следует иметь в виду, что измерение быстродействия варисторов и TVS-диодов всегда производилось различными авторами в сте-

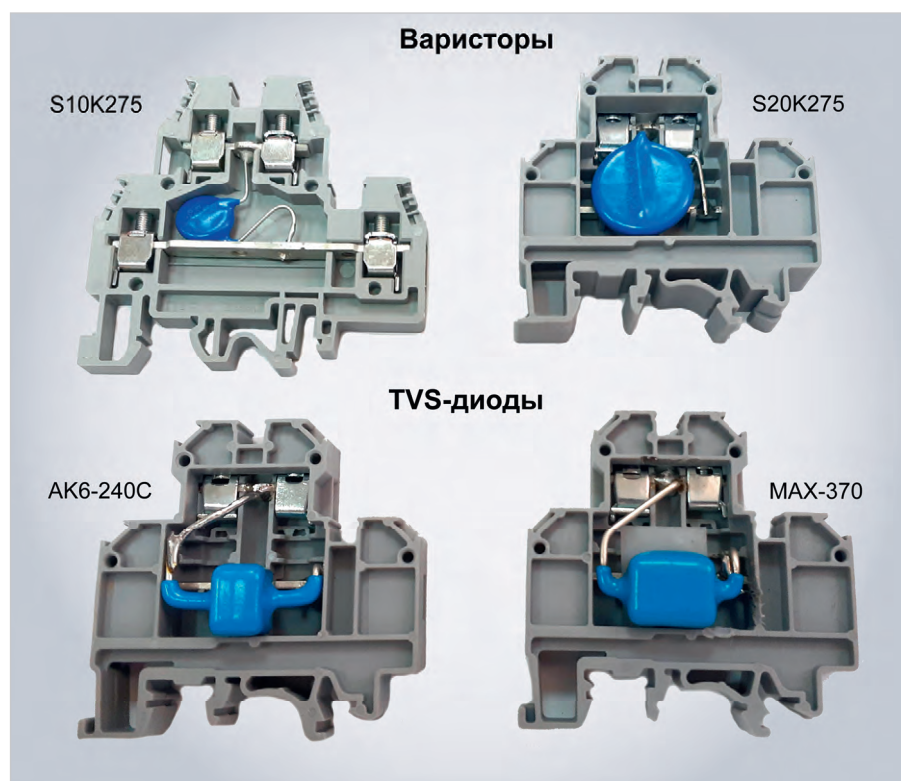


Рис. 1. Два типа варисторов (вверху) и два типа TVS-диодов (внизу) с аналогичными характеристиками, выбранные для исследования

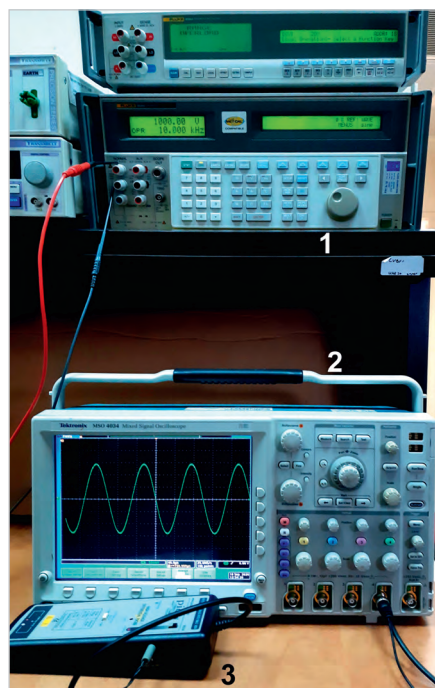


Рис. 2. Калибровка активного дифференциального делителя напряжения (3) для осциллографа (2) с помощью калибратора FLUKE 5520A (1)

рильных лабораторных условиях при соблюдении всех особенностей высоко-частотных цепей и методик испытаний таких цепей. В принципе, это правильно, когда мы хотим получить точную информацию о быстродействии самих элементов: варисторов и TVS-диодов, но правильно ли это, когда мы хотим узнать об эффективности работы этих элементов в конкретных условиях эксплуатации (в электрических монтажных шкафах), весьма далёких от лабораторных, в цепях, не имеющих никакого отношения к высокочастотным. К таким шкафам подходят извне длинные провода и кабели, монтаж внутри шкафов выполнен обычными неэкранированными монтажными проводами, уложенными параллельно в пластмассовых кабельных каналах... То есть реальные условия эксплуатации варисторов и TVS-диодов не имеют ничего общего с условиями их лабораторных испытаний, и это вызывает серьёзные сомнения в применимости полученных ранее выводов об их быстродействии к реальным условиям эксплуатации. По этой причине нами ранее уже была исследована эта проблема [1] и получены результаты, показывающие возможность использования в реальных условиях дешёвых варисторов в качестве основных средств защиты от ЭМИ ЯВ. Однако в этих исследованиях использовалась низковольтная аппаратура и

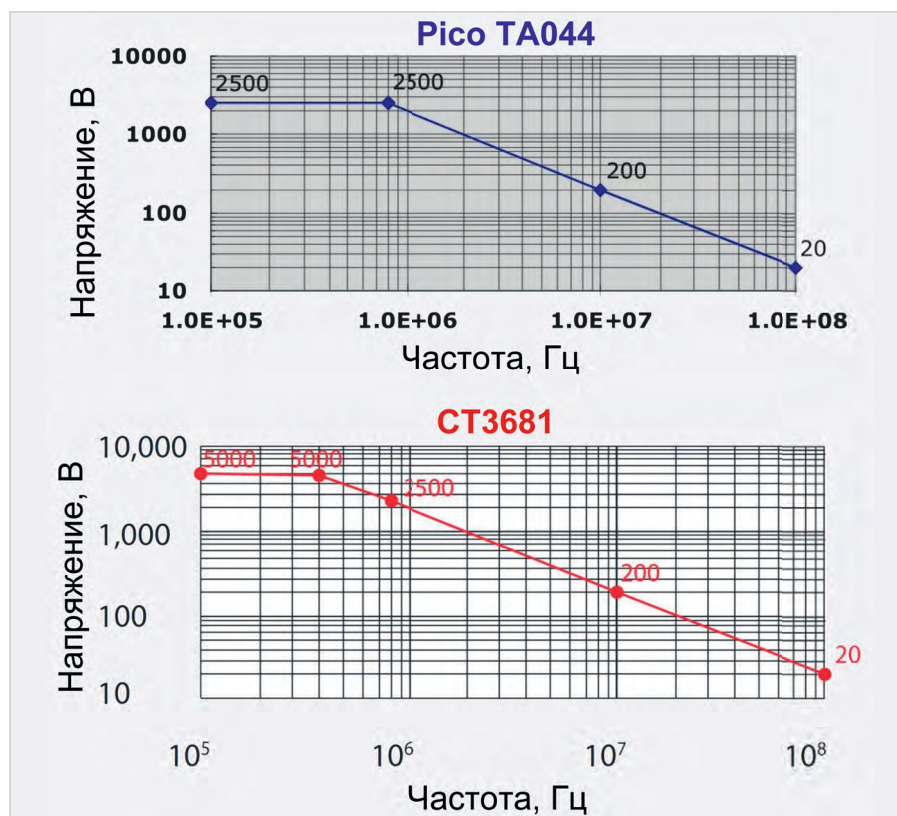


Рис. 3. Типичные амплитудно-частотные характеристики активных высоковольтных дифференциальных делителей напряжения для осциллографов (на примере делителей типов Pico TA044 и CT3681)

исследовались низковольтные ограничители импульсных напряжений.

Целью данной работы является сравнение реакций мощных варисторов и TVS-диодов на одинаковые высоковольтные импульсные воздействия, импульсные воздействия, близкие по параметрам к реальным ЭМИ ЯВ, в условиях, соответствующих реальным условиям эксплуатации в шкафах с электронной аппаратурой.

Метод, объект исследования и аппаратура

Для исследования были выбраны два типа варисторов и два типа TVS-диодов с близкими характеристиками, смонтированные в стандартных клеммниках для DIN-рейки (см. рис. 1), поскольку именно в таком виде они могут быть применены для монтажа в шкафах с аппаратурой. В испытаниях использовалась следующая аппаратура:

- генератор высоковольтных коротких импульсов Emtest EFT 500N с выходным напряжением до 7 кВ;
- активный дифференциальный высоковольтный высокочастотный делитель напряжения Pico Technology TA044;
- осциллограф Tektronix MSO 4034.

Перед началом испытаний делитель напряжения TA044 был отка-

лирован на калибраторе высокого класса FLUKE 5520A при синусоидальном напряжении до 1000 В и частоте до 10 кГц (см. рис. 2).

Генератор EFT 500N с выходным напряжением до 7 кВ предназначен для испытаний устойчивости аппаратуры на воздействие высоковольтного быстрого импульса (Electrical Fast Transient) стандартной формы [2]. Это несинусоидальный импульс сложной формы, который при разложении в ряд Фурье даст, естественно, большой набор гармоник, то есть набор сигналов разных частот. Это представляет определённую проблему, поскольку активные дифференциальные делители напряжения обладают далеко не идеальной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) в требуемом диапазоне частот (0,1...100 МГц, см. рис. 3). Поэтому степени затухания в этом делителе различных гармонических составляющих выходного сигнала генератора тестовых импульсов будут существенно отличаться между собой. В результате этого несинусоидальный сигнал сложной формы, поступающий с делителя на осциллограф, будет иметь существенно искажённую, мало чем напоминающую реальную, форму данного импульса. К тому же индуктивность и ёмкость монтажных проводов и соб-

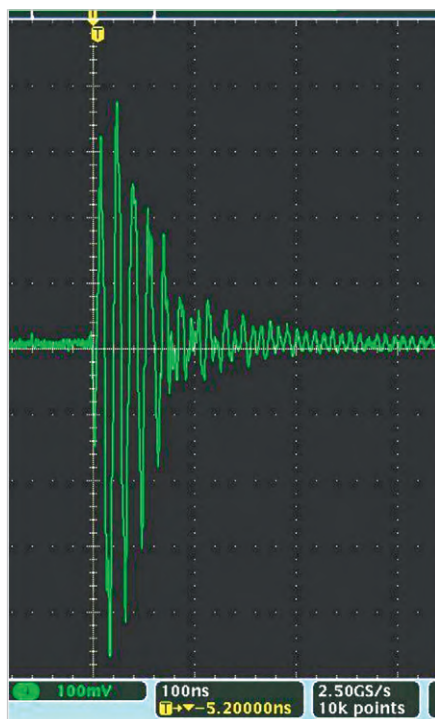


Рис. 4. Так выглядит на экране осциллографа тестовый импульс генератора, пропущенный через активный дифференциальный делитель напряжения

ственных выводов этого делителя приводят к возникновению колебательно-го процесса (см. рис. 4).

Поскольку целью нашего исследования является не точное измерение времени реакции варисторов и TVS-диодов на стандартный импульс, а лишь сравнительные испытания этих двух типов ограничителей импульсных напряжений при прочих равных условиях, то использование такого искажённого (на экране осциллографа, а не в реальности) импульса считается вполне допустимым.

Результаты испытаний

На первом этапе были проведены сравнительные испытания двух варисторов разных типов попарно и двух TVS-диодов разных типов (см. рис. 5). Результаты испытаний (см. рис. 6) показали отсутствие существенной разницы в реакции на тестовый импульс между двумя типами варисторов и между двумя типами TVS-диодов, поэтому в дальнейших исследованиях был использован лишь один тип варисторов и один тип TVS-диодов. Аналогичным образом исследовалось влияние длины монтажных проводов (0,5 и 2,0 м), соединяющих генератор тестовых импульсов с варистором или TVS-диодом. При этом также не было обнаружено сколько-нибудь существенного

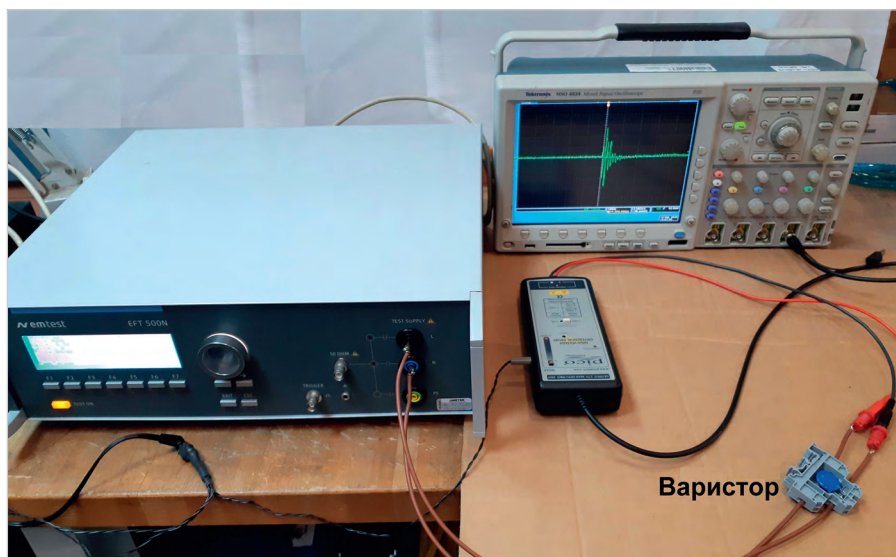


Рис. 5. Испытание варисторов

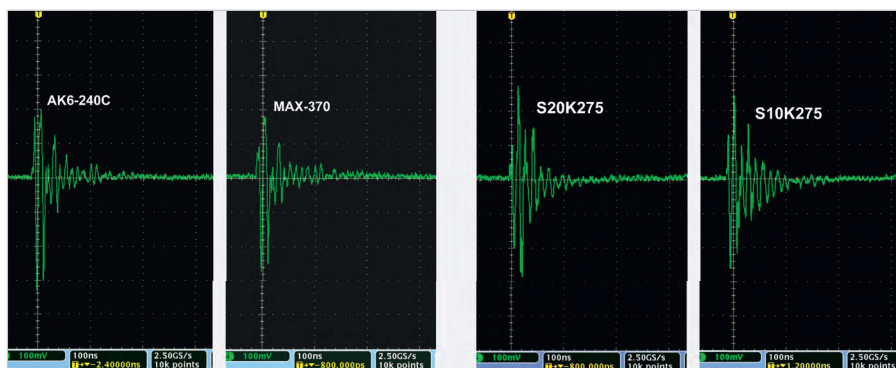


Рис. 6. Осциллограммы остаточного напряжения на TVS-диодах двух разных типов (слева) и двух разных варисторах (справа)

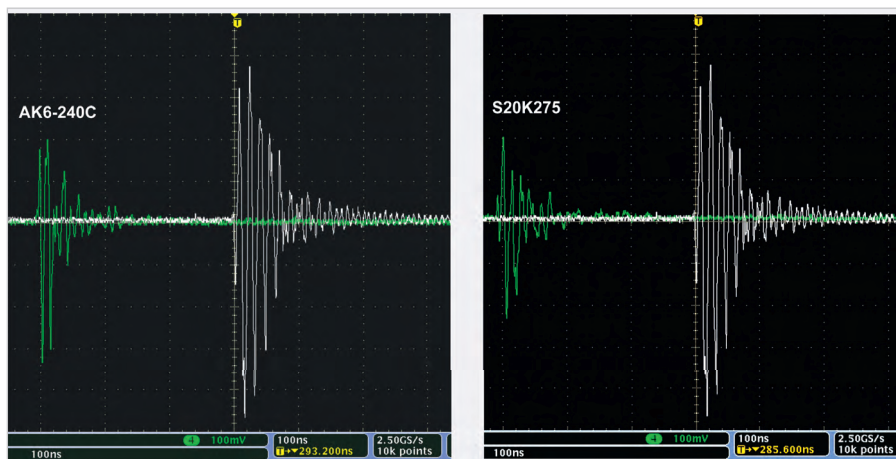


Рис. 7. Остаточное напряжение на TVS-диоде AK6-240C и варисторе S20K275 при воздействии одинакового тестового импульса генератора (на обеих осциллограммах этот импульс справа)

влияния длины этих проводов на остаточное напряжение на TVS-диодах и варисторах. Поэтому в дальнейших исследованиях были использованы монтажные провода длиной 0,5 м.

Результаты исследования влияния TVS-диода и варистора на тестовый импульс (см. рис. 7) показывают, что оба вида ограничителей импульс-

ных напряжений снижают амплитуду импульса и способствуют его более быстрому затуханию, причём варистор S20K275 выполняет свои функции ничуть не хуже TVS-диода AK6-240C.

На этом сформулированную цель можно было бы считать достигнутой и остановиться на полученном результате, который можно сформулировать

так: в условиях, приближённых к реальным, варистор может работать ничуть не хуже TVS-диода в качестве средства защиты от ЭМИ ЯВ. Однако исследования были продолжены с целью выяснения влияния различных дополнительных элементов в комбинации с варистором на эффективность ослабления тестового сигнала. Например, комбинация с дросселем, включённым в защищаемую цепь перед варистором, считается одной из мер, повышающей эффективность работы варистора. Некоторые компании даже выпускают такие дроссели в корпусе, предназначенном для установки на DIN-рейку, специально для комплектации ими варисторов, например дроссели типа DSH 2x16 компании CITEL.

Несмотря на распространённое мнение об эффективности такого технического решения, автором был проведён эксперимент (см. рис. 8) с дросселем типа ЕЕК55246-221М-50А, специально предназначенным для подавления электромагнитных помех и включённым в разрыв провода, соединяющего генератор тестовых импульсов с варистором. Результат, представленный на рисунке 8, оказался неожиданным. В связи с этим дополнительно была снята частотная характеристика этого дросселя (см. рис. 9), которая показала, что для диапазона частот ЭМИ ЯВ (0,1–100 МГц) его использование малоэффективно, что можно объяснить большой собственной проходной ёмкостью такого дросселя, имеющего геликоидальную намотку.

При этом обратный эффект от использования дросселя совместно с варистором (т.е. существенное увеличение амплитуды и длительности остаточного напряжения вместо их снижения, см. рис. 8) можно объяснить возникновением резонанса в колебательном контуре, образованном ёмкостями дросселя, варистора, соединительных проводов и индуктивностью дросселя. Совершенно очевидно, что на высоких частотах полученный результат справедлив лишь для конкретных условий эксперимента, и с изменением этих условий результат будет иной. Однако сам по себе факт существования такой возможности должен настораживать, так как в реальных условиях эксплуатации высокочастотные свойства электрических монтажных шкафов имеют очень большой разброс и являются непредсказуемыми. То есть в реаль-

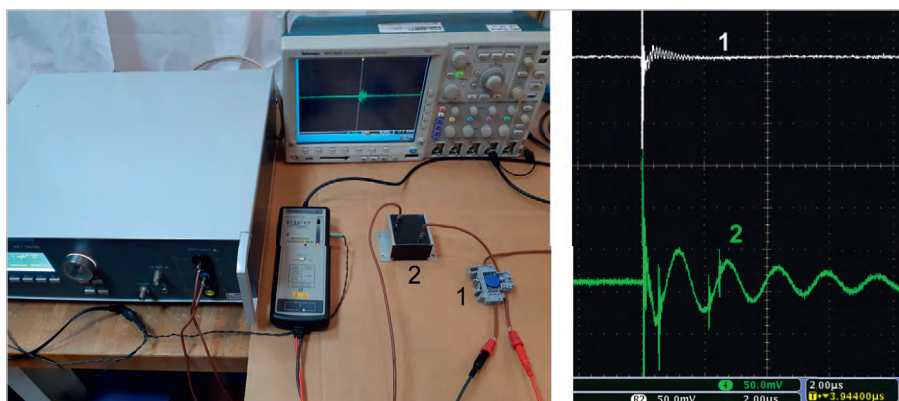


Рис. 8. Исследование эффективности работы варистора (1) с включенным перед ним дросселем (2) и полученная осциллограмма, на которой представлено остаточное напряжение на варисторе (1) и на том же варисторе с включенным перед ним дросселем (2)

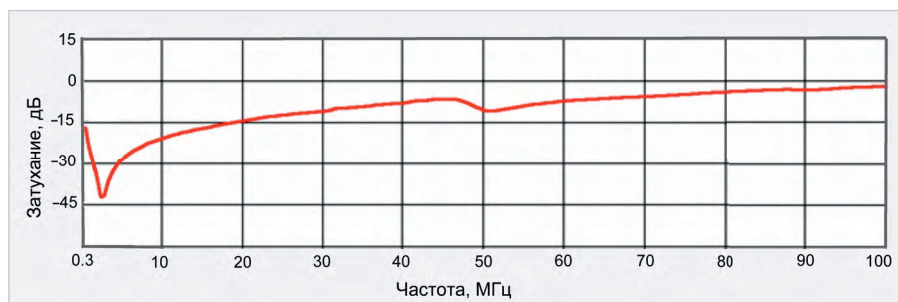


Рис. 9. Частотная характеристика дросселя типа ЕЕК55246-221М-50А

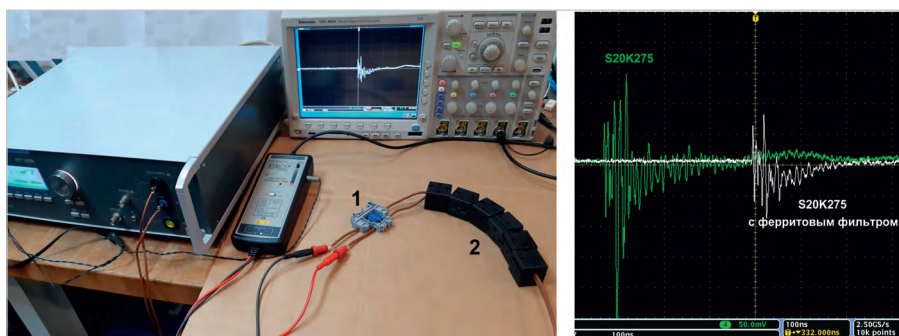


Рис. 10. Исследование эффективности работы варистора типа S20K275 (1) с набором из шести ферритовых колец в пластмассовой арматуре типа М93RS, 26 × 13 × 29, G – ОВЗ (2), надетых на провода перед варистором

ных условиях существует опасность возникновения режима с резким усилением отрицательного воздействия ЭМИ ЯВ на электронную аппаратуру, размещённую в монтажных шкафах, вместо ожидаемого ослабления. Это означает, что с учётом довольно низкого затухания, вносимого таким дросселем (а он был выбран не произвольным образом, а с учётом требуемых характеристик), целесообразность его применения в качестве вспомогательного средства защиты от ЭМИ ЯВ весьма сомнительна.

В отличие от дросселя, включаемого в разрыв провода, использование ферритовых фильтров, выполненных в виде полуколец, надеваемых на сое-

динительные провода перед варистором, даёт совершенно иной результат (см. рис. 10). На осциллограмме для сравнения представлены остаточные напряжения на отдельном варисторе (слева) и на том же варисторе с ферритовым фильтром (справа). Как можно видеть из полученных осциллограмм, ферритовый фильтр подавляет как амплитуду, так и длительность воздействующего импульса и повышает эффективность работы варистора.

Не менее эффективным оказалось совместное применение варистора с LC-фильтром, включённым после него. Такое изменение схемы включения потребовалось по той причине, что подобные фильтры не предназначены для прямой

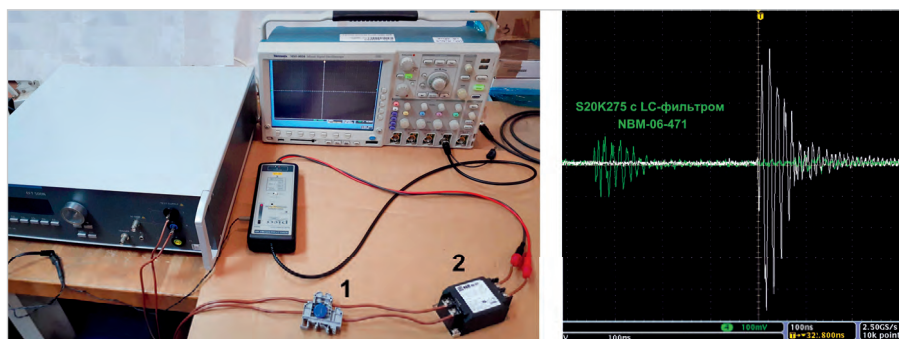


Рис. 11. Исследование эффективности работы варистора типа S20K275 (1) с LC-фильтром типа NMB-06-471 (2), включённым после варистора

подачи на них высокого напряжения и требуют включения ограничителей импульсных напряжений на входе (см. рис. 11). На осциллограмме для сравнения представлены тестовый импульс генератора (справа) и остаточное напряжение на варисторе с LC-фильтром (слева).

Выводы

1. Дешёвые варисторы могут быть использованы в качестве основных средств защиты электронного оборудования, смонтированного в шкафах, от ЭМИ ЯВ не менее эффективно, чем дорогостоящие TVS-диоды.

2. Эффективность защиты может быть существенно повышена при совместном использовании варисторов и LC- или ферритовых фильтров.
3. Следует воздержаться от применения варисторов совместно с дросселями, включёнными в разрыв проводов, входящих в шкафы с электронной аппаратурой.

Литература

1. Гуревич В. И. Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и защита электрооборудования от него. М. Инфра-Инженерия, 2019. С. 516.
2. IEC 61000-4-4 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-4. Testing and measurement techniques. Electrical fast transient/burst immunity test. 2012.



НОВОСТИ МИРА

MICRO CRYSTAL ВЫПУСКАЕТ САМЫЙ ТОЧНЫЙ В МИРЕ ТЕРМОКОМПЕНСИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ЧАСОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

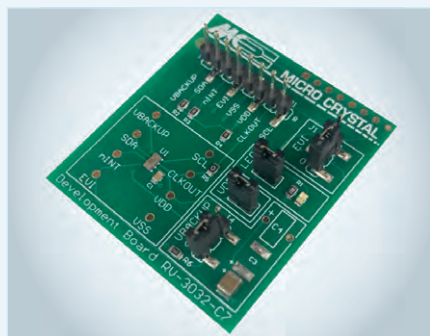
Швейцарская компания Micro Crystal представляет новый модуль часов реального времени (RTC) RV-3032-C7, обеспечивающий лучшую в мире точность в промышленном диапазоне температур при сверхнизком потреблении тока.

Высокоэффективный сверхкомпактный модуль RTC, содержащий заказную микросхему и интегрированный кварцевый резонатор, устанавливает новые стандарты размеров (половина площади корпуса $\mu\text{SOP-8}$, дополнительные внешние компоненты не требуются) точности (± 0.26 с/день при рабочей температуре от -40°C до 85°C) и тока потребления (160 нА в режиме измерения времени) при уникальных возможностях управления питанием.

RV-3032-C7 идеально подходит для приложений, требующих постоянно включённых функций измерения времени при сохранении высокой долгосрочной точности, работы в широком диапазоне температур и длительного срока службы батареи. Прибор разрабатывался для интеллектуальных измерений и аналогичных промышленных и потребительских приложений, таких как носимые устройства и Интернет вещей.

Благодаря широкому диапазону напряжений питания (от 1,2 до 5,5 В), чрезвычайно низкому энергопотреблению и функциям управления питанием, включая

автоматическое переключение на резервный источник, универсальный зарядовый насос и программируемую схему капельной подзарядки, новое устройство может работать в системе с миниатюрным аккумулятором малой ёмкости или с недорогим элементом питания типа «таблетка». Это уменьшает общие размеры и стоимость изготовления конечного продукта и одновременно оптимизирует срок службы батареи.



«Новый модуль часов реального времени RV-3032-C7, содержащий запатентованный нами кварцевый генератор с цифровой компенсацией температуры, является самым инновационным устройством в продуктовой линейке Micro Crystal, устанавливающим новые мировые стандарты в отношении точности измерений в диапазоне температур, низкого энергопотребления и компактных размеров. Команда конструкторов использовала свой 40-летний опыт управления частотой, чтобы разработать и произвести это впечатляющее, лучшее в своем классе устройство, где были определены и тщательно проанализированы все требования клиентов. По-

мимо всех стандартных функций RTC, прибор имеет множество дополнительных, таких как защита данных с помощью пароля и формирование выходного сигнала меггерцового диапазона, которые впервые стали доступны на рынке в таком крошечном устройстве», – сказал Ханс-Рудольф Готтье (Hans-Rudolf Gottier), генеральный директор Micro Crystal AG.

«Предлагая решение критических проблем конструктивных ограничений, связанных с точностью, питанием, размерами и временем автономной работы, RTC RV-3032-C7 определённо поможет инженерам в разработке интеллектуальных продуктов следующего поколения», – сказал Роланд Хэни (Roland Haeni), руководитель отдела прикладной инженерии компании Micro Crystal AG. – Наличие программируемого высокочастотного тактового выхода для синхронизации центрального микроконтроллера и доступ к термометру высокого разрешения, используемому для точной термокомпенсации и установки пороговых значений температуры с функцией прерывания, смогут поддержать множество уникальных и новых приложений».

Модуль упаковывается в герметичный керамический корпус DFN с размерами $3,2 \text{ мм} \times 1,5 \text{ мм} \times 0,8 \text{ мм}$, рассчитанный на пайку оплавлением припоя. Внедрение новых устройств упрощается их соответствием требованиям директивы RoHS, отсутствием свинца и сертификацией по стандарту AEC-Q200.

РадиоЛоцман

РЫНОК

- № 1 – 9 **Новости российского рынка**
- № 4 / стр. 12 **Рекомендации по выбору конфигурации САПР Cadence Allegro** АЛЕКСАНДР АКУЛИН
- № 6 / стр. 10 **Рынок конденсаторов в России Часть 1** ИЛЬЯ ЛЕБЕДЕВ
- № 7 / стр. 10 **Рынок конденсаторов в России. Часть 2** ИЛЬЯ ЛЕБЕДЕВ
- № 7 / стр. 16 **Продвижение российских производителей электронных компонентов на гражданском рынке** ИЛЬЯ ЛЕБЕДЕВ
- № 8 / стр. 10 **Рынок смарт-устройств: тенденции и прогнозы** ГРУППА LEGRAND
- № 8 / стр. 10 **Куда исчезнет власть посредников?** ИЛЬЯ ЛЕБЕДЕВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- № 1 / стр. 10 **Цифровые решения компании SIEMENS для разработки и производства РЭА** ПОЛИКАРП ШАРИКОВ
- № 1 / стр. 26 **Явление и последствия волноводно-резонансного распространения и взаимодействия радиационных потоков. Часть 1** ЕВГЕНИЙ ЕГОРОВ, ВЛАДИМИР ЕГОРОВ, АЛЕКСЕЙ ГАЛИЦЫН
- № 1 / стр. 32 **Использование углеродных нанотрубок для отвода тепла от элементов интегральных схем** ЮРИЙ НЕПОЧАТОВ, ДМИТРИЙ ГОРОДЕЦКИЙ, АЛЕКСАНДР ОКОТРУБ
- № 2 / стр. 8 **Явление и последствия волноводно-резонансного распространения и взаимодействия радиационных потоков. Часть 2** ЕВГЕНИЙ ЕГОРОВ, ВЛАДИМИР ЕГОРОВ, АЛЕКСЕЙ ГАЛИЦЫН
- № 2 / стр. 14 **Воздействие радиационных факторов на полупроводниковые компоненты силовой электроники. Часть 1** ВИКТОР БЕЗРОДНЫЙ
- № 3 / стр. 10 **RFID – волшебные радиоволны** МАКСИМ СЕЛИВАНОВ
- № 3 / стр. 12 **Программу экспортозамещения можно начинать с GaAs-диодов** ВИКТОР ВОЙТОВИЧ, АЛЕКСАНДР ГОРДЕЕВ, АНАТОЛИЙ ЗВОНАРЁВ
- № 3 / стр. 18 **Туманный Интернет вещей** АЛЕКСЕЙ ГАЛИЦЫН
- № 3 / стр. 26 **Воздействие радиационных факторов на полупроводниковые компоненты силовой электроники. Часть 2** ВИКТОР БЕЗРОДНЫЙ
- № 3 / стр. 30 **Покрытия радиочастотных соединителей** КИВА ДЖУРИНСКИЙ
- № 3 / стр. 42 **Инновационные технологии выводят качество измерений на новый уровень** АЛЕКСАНДР ДЖЕЙ
- № 3 / стр. 43 **Ключевые элементы инноваций нового поколения** КАЙЛАШ НАРАЯНАН
- № 3 / стр. 44 **Обеспечение безопасности в мире 5G** САТИШ ДХАНАСЕКАРАН
- № 3 / стр. 46 **Новый способ классификации и бланкирования дискретных мешающих отражений** ВЛАДИМИР БАРТЕНЕВ
- № 4 / стр. 24 **RFID: всему своё место** МАКСИМ СЕЛИВАНОВ
- № 4 / стр. 26 **Использование защитных покрытий с УФ-отверждением для повышения скорости производства и качества продукции в электронной промышленности** СЕРГЕЙ МАХЛАКОВ
- № 5 / стр. 12 **RFID: вместе строим, вместе производим** МАКСИМ СЕЛИВАНОВ
- № 5 / стр. 14 **Изготовление ГИС СВЧ на алюмонитридных подложках со сквозными отверстиями, заполненными поликристаллическим алмазом** ЮРИЙ НЕПОЧАТОВ, ВЛАДИМИР СВИНАРЕНКО, ИГОРЬ БЕЛАШОВ
- № 5 / стр. 26 **HARTING Technology Group: экологические тренды в промышленности и адаптация к новой реальности** ОЛЬГА РОМАНОВСКАЯ
- № 5 / стр. 28 **Нап® F+B: универсальные соединители для пищевой промышленности** ФЛОРИАН ХАКЕЛЬМАЙЕР
- № 5 / стр. 30 **Монтажное основание приходит на смену гибким печатным платам** ТОМАС ХЕСС
- № 6 / стр. 14 **Разработка RFID-меток: что нового?** МАКСИМ СЕЛИВАНОВ
- № 6 / стр. 16 **Профессиональный стандарт для рабочих в области производства изделий микроэлектроники** СЕРГЕЙ МАКСИМОВ, ЛИЛИАНА ПОЛИКАРПОВА, ИРИНА КИРЮШИНА, НИНА ЗАБОДАЕВА
- № 6 / стр. 22 **Производство печатных плат из многослойной керамики** ДМИТРИЙ ЯКОВЛЕВ
- № 7 / стр. 22 **Миниатюризация систем производства: существует ли нижний предел масштабирования?** ЯКОБ ДЮК
- № 7 / стр. 26 **Внедрение инноваций в приложения IoT: исследование пяти главных проблем с помощью пяти основных принципов IoT** СУК ХУА ВОНГ
- № 8 / стр. 20 **Децентрализованная цепь транзакций: нейроцепь** ЭГГЕР ЛЮДВИГ МИЛБЕРГ, ПЕРЕВОД ИГОРЯ МИХАЙЛОВСКОГО
- № 8 / стр. 26 **Технологии 5G и состояние телемедицины** ХУЭЙ СИН И
- № 8 / стр. 28 **RFID: продукты оцифровываются** МАКСИМ СЕЛИВАНОВ
- № 8 / стр. 30 **Анализатор спектра поля атмосфериков – инструмент изучения гелиогеофизической обстановки** АЛЕКСЕЙ ГАЛАХОВ
- № 9 / стр. 12 **Тонкоплёночные электролюминесцентные структуры против электролюминесцентной подсветки и светодиодов** ВИКТОР ЖДАНКИН

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- № 1 / стр. 40 **Беспроводная передача энергии большой мощности для устройств, работающих в условиях индустриальной среды. Часть 2** АНДРЕАС НАДЛЕР, KEM COM
- № 1 / стр. 46 **Современные 32-разрядные ARM-микроконтроллеры серии STM32. Внутрисхемный отладчик ST-LINK V2** ОЛЕГ ВАЛЬПА
- № 2 / стр. 20 **Современные компоненты для систем Индустрии 4.0 и Интернета вещей от Texas Instruments** ЮРИЙ ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ
- № 3 / стр. 50 **Промышленные разъёмы Heavusop: надёжность в любых условиях и удобство подключения** АЛЕКСАНДР АСОН
- № 3 / стр. 54 **Философия точности: магнитные датчики «ИДМ-ПЛЮС»** АЛЕКСАНДР БЕКМАЧЕВ, ЕВГЕНИЙ СТАХИН
- № 3 / стр. 58 **Линейка твердотельных реле ЗАО «Протон-Импульс» с контролем функционирования для ответственных применений** СЕРГЕЙ ВЕРИЖНИКОВ
- № 5 / стр. 34 **Современные электролитические конденсаторы EPCOS для промышленных источников питания и автомобильной электроники** ЮРИЙ ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ
- № 4 / стр. 32 **Цветные графические сенсорные дисплейные модули Nextion на основе микроконтроллера серии STM32** ОЛЕГ ВАЛЬПА
- № 5 / стр. 38 **Микросхемы сверхоперативной ОЗУ памяти от GSI Technology** ЕВГЕНИЙ ПАВЛЮКОВИЧ
- № 6 / стр. 28 **Результаты работы АО «СКТБ РТ» по программе импортозамещения** МАРИЯ БОЙЦОВА
- № 6 / стр. 34 **Особенности применения кварцевых генераторов с высокой температурной стабильностью** АЛЕКСАНДР КОТЮКОВ, АРКАДИЙ НИКОНОВ, АЛЕКСЕЙ ЗАСЛАВСКИЙ, ЮРИЙ ИВАНОВ
- № 6 / стр. 38 **Новинки от АО «Завод «Снежеть»: быстроразъёмные гидравлические соединители** ЕЛИЗАВЕТА МАТЮХИНА
- № 7 / стр. 30 **Перестраиваемые полосовые фильтры** ИРИНА ЗАБЕГАЙЛО, АЛЕКСАНДР ТЮМЕНЦЕВ, АНДРЕЙ ЯКОВЛЕВ
- № 8 / стр. 36 **Радиочастотные соединители обратной полярности. Справочные материалы** КИВА ДЖУРИНСКИЙ

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- № 4 / стр. 18 **Особенности применения лазерной гравировки для маркирования электронных компонентов и модулей** ЕВГЕНИЙ ДЕНИСЕНКО

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- № 1 / стр. 48 **Функция Deembedding в осциллографах R&S RTP: учёт и компенсация амплитудно-фазовых искажений для пробников и измерительной оснастки. Часть 2** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, ПАВЕЛ СТРУНИН, МИХАИЛ ГОРЕЛКИН
- № 1 / стр. 54 **Малошумящие источники высокого напряжения для чувствительных фотодетекторов** ВИКТОР ЖДАНКИН
- № 2 / стр. 28 **Характеристики системы запуска осциллографа** КОЛИН МЭТТСОН
- № 2 / стр. 32 **Блок чувствительных элементов для инерциальных систем управления** ДМИТРИЙ ГАМАНЮК
- № 2 / стр. 36 **Электронное реле для защиты силового электрооборудования от воздействия геомагнитно-индуцированных токов ЭМИ ЯВ** ВЛАДИМИР ГУРЕВИЧ
- № 4 / стр. 34 **Оценка эффективности силового полупроводникового прибора методом двухимпульсного тестирования** АНДРЕА ВИНЧИ
- № 5 / стр. 44 **Предохранительно-исполнительный модуль для реле защиты трансформатора от ГИТ ЭМИ ЯВ** ВЛАДИМИР ГУРЕВИЧ
- № 5 / стр. 48 **Измерения фазовых шумов импульсных сигналов с использованием анализаторов фазового шума R&S FSWP. Часть 1** КИРИЛЛ РУМЯНЦЕВ, НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО
- № 5 / стр. 54 **Измерение коэффициента мощности шума с помощью реальных сигналов** ДОНАЛЬД ВАНДЕРВЕЙТ
- № 6 / стр. 44 **SOM-NPC: новые возможности** РИФАТ ХАКИМОВ
- № 6 / стр. 48 **Измерения фазовых шумов импульсных сигналов с использованием анализаторов фазового шума R&S FSWP. Часть 2** КИРИЛЛ РУМЯНЦЕВ, НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО
- № 6 / стр. 56 **Подавление радиопомех в бортовых системах электропитания на основе ограничителя выбросов напряжения** АНАТОЛИЙ МИРОНОВ
- № 6 / стр. 60 **Устойчивость источников питания микропроцессорных устройств релейной защиты к мощным наносекундным импульсам** ВЛАДИМИР ГУРЕВИЧ
- № 7 / стр. 34 **Современные AC/DC источники питания компании TDK-Lambda** ЮРИЙ ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ
- № 7 / стр. 40 **Современный подход к формированию сигналов для тестирования приёмных устройств радиолокационных систем с учётом предполагаемой электромагнитной обстановки** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, АЛЕКСАНДР ПАТШИН
- № 8 / стр. 56 **Расчёт собственного импеданса ферритовых втулок в составе электрических цепей на основе измерений во временной области. Часть 1** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, МИХАИЛ ГОРЕЛКИН, ПАВЕЛ СТРУНИН

- № 9 / стр. 16 **Расчёт собственного импеданса ферритовых втулок в составе электрических цепей на основе измерений во временной области Часть 2** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, МИХАИЛ ГОРЕЛКИН, ПАВЕЛ СТРУНИН
- № 9 / стр. 22 **Современные DC-DC источники питания компании TDK Lambda** ЮРИЙ ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- № 1 / стр. 58 **Однополярное питание аудиоусилителя на мощных ОУ в мостовом включении. Часть 1**
АЛЕКСЕЙ КУЗЬМИНОВ
- № 1 / стр. 64 **Реле времени с индикатором Data Vision** СЕРГЕЙ ШИШКИН
- № 2 / стр. 42 **Однополярное питание аудиоусилителя на мощных ОУ в мостовом включении. Часть 2** АЛЕКСЕЙ КУЗЬМИНОВ
- № 2 / стр. 46 **Модуль радиосвязи nRF24L01 для Интернета вещей** ОЛЕГ ВАЛЬПА
- № 2 / стр. 52 **Магнитометр на модуле UART-USB** АНДРЕЙ ШАБРОНОВ
- № 2 / стр. 54 **Плата контроллера для охранных извещателей «Астра-5» и ИО 102-26** СЕРГЕЙ ШИШКИН
- № 3 / стр. 60 **Цифровой термометр на микросхеме MAX6675 и UART-USB модуле** АНДРЕЙ ШАБРОНОВ
- № 8 / стр. 42 **Применение интерфейса 1-Wire в радиоканале 433 МГц на модуле HC11** АНДРЕЙ ШАБРОНОВ
- № 8 / стр. 46 **Цифровой вольтметр с высоким разрешением. Часть 1. Принципиальные схемы устройств**
АЛЕКСЕЙ КУЗЬМИНОВ
- № 9 / стр. 28 **Периферия для измерителя-регулятора** СЕРГЕЙ ШИШКИН
- № 9 / стр. 34 **Цифровой вольтметр с высоким разрешением. Часть 2. Программные средства** АЛЕКСЕЙ КУЗЬМИНОВ
- № 9 / стр. 38 **О необходимости и возможности контроля наличия силового напряжения при работе СЭГП**
ИЛЬЯ СТРУКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- № 1 / стр. 68 **Altium Designer 20.0: обзор новых возможностей** ПАВЕЛ ДЕМИДОВ
- № 1 / стр. 74 **Динамическая индикация на базе светодиодных матриц в программной среде Proteus**
ТАТЬЯНА КОЛЕСНИКОВА
- № 2 / стр. 58 **Повышение ресурса герконов за счёт оптимизации воздействующей магнитодвижущей силы. Часть 1** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, ПАВЕЛ СТРУНИН
- № 2 / стр. 62 **Облачное программирование проектов Интернета вещей** ОЛЕГ ВАЛЬПА
- № 2 / стр. 66 **Обзор Altium Concord Pro** АЛЕКСАНДР ФЕНЬ
- № 3 / стр. 66 **Проектирование для производства (DFM). Часть 2. Подготовка стратегии конструирования печатного узла** ИГОРЬ ЗЫРИН, ДЭВИД МАРРАКЧИ
- № 3 / стр. 76 **Board Assistant 2.0 – система оформления полного комплекта конструкторской документации в Altium Designer** ВАДИМ ИВАНОВ, СЕРГЕЙ КРАСИЛЬНИКОВ, ИЛЬЯ ЛЕВИН
- № 3 / стр. 80 **Повышение ресурса герконов за счёт оптимизации воздействующей магнитодвижущей силы. Часть 2** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, ПАВЕЛ СТРУНИН
- № 3 / стр. 84 **Использование симулятора антенн для оптимизации планарных фильтров** ДЖЕФФРИ КЭЛЛЕР, АНДРЕАС ВАЙН
- № 4 / стр. 42 **Управляемый джиттер в цифровых системах и экспериментальная оценка эффективности его использования для снижения помехозащиты** НИКОЛАЙ ЛЕМЕШКО, ПАВЕЛ СТРУНИН
- № 4 / стр. 52 **Поисковое проектирование цифровых фазовых корректоров** ВЛАДИМИР БУГРОВ, ИВАН ВОРОБЬЁВ
- № 4 / стр. 60 **Проектирование для производства (DFM). Часть 3. Подготовка стратегии конструирования печатного узла** ИГОРЬ ЗЫРИН, ДЭВИД МАРРАКЧИ
- № 4 / стр. 66 **Как создать прикладную программу для Altium Designer?** ВАДИМ ИВАНОВ, ДМИТРИЙ ЧАЙКИН, АЛЕКСЕЙ КРАСИЛЬНИКОВ, ИЛЬЯ ЛЕВИН
- № 5 / стр. 58 **Внедрение программ класса ECAD/EDA на российских приборостроительных предприятиях**
АНТОН ПЛАКСИН, ИЛЬЯ СКВОРЦОВ

- № 5 / стр. 62 **Проектирование для производства (DFM). Часть 4. Размещение компонентов** ИГОРЬ ЗЫРИН,
ДЭВИД МАРРАКЧИ
- № 5 / стр. 68 **Настройка синхронизации данных Concord Pro и Windchill PDMLink** ВАДИМ ИВАНОВ
- № 5 / стр. 72 **Тестирование встраиваемых систем: разработка тестового ПО или JTAG Functional Test?**
АЛЕКСЕЙ ИВАНОВ, МИК ОСТИН
- № 6 / стр. 64 **Обзор САПР для проектирования и моделирования СВЧ-электроники Cadence AWR Design Environment 15** АЛЕКСАНДР АКУЛИН
- № 6 / стр. 70 **Учёт геометрической неоднородности поверхности проводника при проектировании печатных плат** ИГОРЬ ЗЫРИН
- № 7 / стр. 48 **Применение мультифизического моделирования при проектировании печатных плат электронных устройств** ТАТЬЯНА КОЛЕСНИКОВА
- № 7 / стр. 58 **Создание посадочного места из модели STEP в САПР Cadence Allegro** АЛЕКСАНДР АКУЛИН
- № 7 / стр. 62 **Разработка модели цифрового компонента в Altium Designer. Часть 1** ЮРИЙ ЛЕГАН
- № 7 / стр. 88 **Новый функционал в САПР Delta Design версии 2.7** СЕРГЕЙ ПОПОВ
- № 9 / стр. 53 **Разработка модели цифрового компонента в Altium Designer Часть 3** ЮРИЙ ЛЕГАН
- № 9 / стр. 56 **Физико-математическое моделирование энергетических процессов в импульсных прямых ксеноновых лампах, работающих в электрических схемах Часть 1** ЮРИЙ МАНДРЫКО, АЛЕКСАНДР ЧИРЦОВ
- № 9 / стр. 62 **Формальный дедуктивный анализ автоматного алгоритма управления генератором эндогаза с помощью платформы Rodin. Часть 1. Определение требований надёжности и безопасности работы генератора эндогаза** МАКСИМ НЕЙЗОВ
- № 9 / стр. 64 **Разработка печатных плат высокоскоростных цифровых схем средствами САПР Delta Design** СЕРГЕЙ ПОПОВ
- № 9 / стр. 70 **Сравнительные испытания ограничителей импульсных напряжений для защиты электронного оборудования энергосистем от электромагнитного импульса высотного ЯВ** ВЛАДИМИР ГУРЕВИЧ

ЧЕЛОВЕК И ЗАКОН

- № 1 / стр. 82 **Ноу-хау инноваций и франшиз** ГЕННАДИЙ ФОКИН

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- № 2 / стр. 72 **Советский «Дон Кихот» и первопроходец в радиостроении. К 125-летию со дня рождения академика А.Л. Минца** ВЛАДИМИР БАРТЕНЕВ
- № 4 / стр. 72 **Герой нашего времени: к 90-летию Нобелевского лауреата и академика Ж.И. Алфёрова**
ВЛАДИМИР БАРТЕНЕВ
- № 5 / стр. 76 **День Великой Победы и День радио** ВЛАДИМИР БАРТЕНЕВ
- № 7 / стр. 70 **Патриарх отечественной полупроводниковой электроники** ВЛАДИМИР БАРТЕНЕВ

СОБЫТИЯ

- № 1 / стр. 84 **Антисанкции-2019: IT-импортозамещение в России** АНДРЕЙ ФИЛАТОВ
- № 4 / стр. 78 **Инновации «Территории NDT 2020»** ДАНИЛА ТРОФИМОВ

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

- № 2 / стр. 76 **Системы менеджмента качества и расширение возможностей организаций на их основе**
ДМИТРИЙ ГАМАНЮК
- № 6 / стр. 80 **Как сохранить доминирование США в полупроводниках?** ИВАН ПОКРОВСКИЙ
- № 7 / стр. 76 **Об искусственном интеллекте и цифровизации «сверху»** АСЛАНБЕК ШОГЕНОВ
- № 9 / стр. 8 **Модульность в технологиях производства: как далеко вы хотите зайти в миниатюризации?** ЯКОБ ДЮК
- № 9 / стр. 44 **«Неуправляемые» боевые роботы и беспилотники** АЛЕКСЕЙ ГАЛИЦЫН

ПЕРСОНА НОМЕРА

- № 5 / стр. 4 **Елена Иванова: «Мы хотим быть быстрее, выше, сильнее»** ДАНИЛА ТРОФИМОВ



ЖУРНАЛ

«СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ

подписка с гарантированной доставкой

ОНЛАЙН подробная информация на сайте www.soel.ru
позвоните в редакцию **+7 495 232-0087**
напишите нам info@soel.ru

НА ПОЧТЕ по каталогу агентства «Урал-Пресс»
почтовый индекс для печатной версии **36280**

Физическим лицам для получения печатной версии журнала в 2021 году предлагаем оформить подписку через подписное агентство «Урал-Пресс» (индекс на 1 год – 36280). В этом случае журнал будет гарантированно доставлен на указанный почтовый адрес Почтой России.

Юридические лица могут подписаться на печатную версию журнала «Современная электроника» на 2021 год, оплатив прилагаемый счёт. Каждый новый номер печатной версии журнала будет гарантированно доставляться заказной бандеролью по Почте России.

Подписка только для юридических* лиц

*Выход каждого нового номера будет сопровождаться полным комплектом закрывающих бухгалтерских документов.

Журнал «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»
ПЕЧАТНАЯ версия

Издание	Назначение платежа	Периодичность выхода	Подписная цена, руб.
СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	Подписка на 2021 год	9 номеров в год	7 920,00

ООО «СТА-ПРЕСС»
ИНН: 7726208996, КПП: 772801001,
ОГРН 1037739253100,
ПАО АКБ «АВАНГАРД», БИК 044525201,
к/сч 30101810000000000201,
р/сч 40702810100070000708.

Счет на оплату № ПЮ02-2021 от 01 декабря 2020 г.

Поставщик: ООО «СТА-ПРЕСС», ИНН: 7726208996, КПП: 772801001
(Исполнитель): РФ, 117437, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, пом I ком 67, тел. + 7 (495) 234-06-35

Основание: Счет № ПЮ02-2021 от 01 декабря 2020 г.

№	Товары (работы, услуги)	Кол-во	Ед.	Цена	Сумма
1	Подписка на ПЕЧАТНУЮ версию журнала «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» на 2021 год	9	шт	880,00	7 920,00

Итого: 7 920,00
В том числе НДС: 720,00
Всего к оплате: 7 920,00

Всего наименований 1, на сумму 7920,00 руб.
Семь тысяч девятьсот двадцать рублей 00 копеек

Внимание!

При оплате счёта укажите в платёжном поручении в графе «Назначение платежа» полный адрес доставки (с почтовым индексом), телефон для связи (с кодом города), контактное лицо, e-mail.

Оплата данного счета означает согласие с условиями поставки товара.

Руководитель

Седов К. В.





СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА

СТА

YouTube-канал журнала СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Спешим поделиться хорошей новостью, коих в наше время не так много: журнал «Современная электроника» запустил собственный YouTube-канал о... современной электронике и технологиях автоматизации!

На канале «Современной электроники» вы познакомитесь с людьми и компаниями, занятыми в России разработкой электронных компонентов и технологий в области электроники.

В условиях пандемии и вынужденной ограниченности в контактах наш канал станет для вас дополнительным мостиком в мир электроники: с нашей помощью вы узнаете мнение участников ежегодной конференции Keysight Technologies, XI Форума дистрибьюторов электронных компонентов, выставок ChipEXPO-2020, Power Electronics, Testing&Control, NDT Russia и ExpoCoating, «СВЯЗЬ-2020» и «НАВИТЕХ-2020».

Мы начали серию репортажей из лаборатории компании FASTWEL: показываем, как новая плата отечественной разработки на основе процессора «Байкал» тестировалась на уровень излучаемых помех.

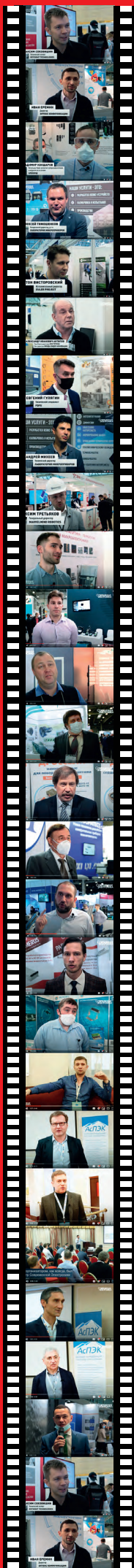
Также на канале можно посмотреть первое большое интервью с одним из постоянных авторов «Современной электроники» Ильёй Лебедевым, который рассказал о перспективах рынка конденсаторов в России.

Мы уже опубликовали более 40 интервью, из которых вы узнаете:

- кому и как помогли правительственные гранты, и есть ли в «Сколково» стартапы не для «освоения бюджета»;
 - какие российские производители могут работать и уже работают на зарубежных рынках;
 - работает ли импортозамещение, или воз и ныне там;
 - кто и как внедряет сети 5G в России
- и многое другое...

Канал «Современной электроники» – это площадка, на которой специалисты отрасли рассказывают о насущных проблемах, глобальных и локальных тенденциях рынка и делятся полезным опытом.

Подписывайтесь на наш канал и узнавайте новости первыми!





Завод Магнетон

МАТЕРИАЛЫ И ЭКБ МИРОВОГО УРОВНЯ



СВЧ-ФЕРРИТЫ
Mn-Zn, Ni-Zn
ФЕРРИТЫ

ИНДУКТИВНЫЕ
КОМПОНЕНТЫ

СВЧ-КЕРАМИКА
КЕРАМИЧЕСКИЕ
РЕЗОНАТОРЫ

СВЧ-ВЕНТИЛИ
И ЦИРКУЛЯТОРЫ
СВЧ-ФАЗОВРАЩАТЕЛИ
СВЧ-ФИЛЬТРЫ

Реклама



WWW.MAGNETON.RU