

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

6

2018

СЕКРЕТ КАЧЕСТВА НЕМЕЦКОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ
В РОССИИ

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ: ПЕРСПЕКТИВЫ
И ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВАРИАНТЫ

TFT-LCD-МОДУЛИ КОМПАНИИ
MITSUBISHI ELECTRIC

МОЩНЫЕ AC/DC
ДЛЯ БЕСПЕРЕБОЙНИКОВ
ПОСТОЯННОГО ТОКА

ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ
НА СООТВЕТСТВИЕ LORAWAN

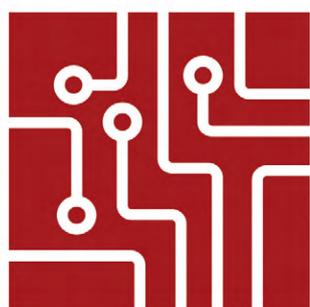
и многое другое



App Store



Google Play



VII ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

ЭКБ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЧЕСТВЕННОЙ ЭКБ

**16–17 АВГУСТА 2018 ГОДА
ГОРОД МОСКВА**

Для участия в конференции* необходимо направить заявку
в Организационный комитет **не позднее 10.08.2018 г.**

Организационный комитет:

АО «ТЕСТПРИБОР»

Телефон/факс: (495) 657-87-37

E-mail: tp@test-expert.ru

* Участие в конференции платное.

За подробной информацией о программе конференции, пожалуйста, обращайтесь в Организационный комитет.

Дымоуловители Duet FE 300-2

DUET FE 300-2 – многоступенчатая система, для очистки воздуха при ручной пайке до состояния почти медицинской стерильности.

Duet FE 300-2 блок – портативная система легко устанавливается и в любое время может быть перенесена в связи с производственными нуждами.

- Гранулированный угольный фильтр;
- Фильтр HEPA-13 (эффективность 99.97%), класс F7;
- Увеличенный размер выпускных патрубков 75 мм;
- Высокая производительность 320 м³/час;
- Воздушный поток 11.3 м/с (2x75 мм) при давлении 30 мБар;
- Низкий уровень шума <52 дБ;
- Материал корпуса -сталь с порошковым покрытием;
- Для двух рабочих мест.

Блок Duet FE 300-2 поставляется в комплекте с комбинированным и предварительным фильтрами.

Характеристики комбинированного фильтра

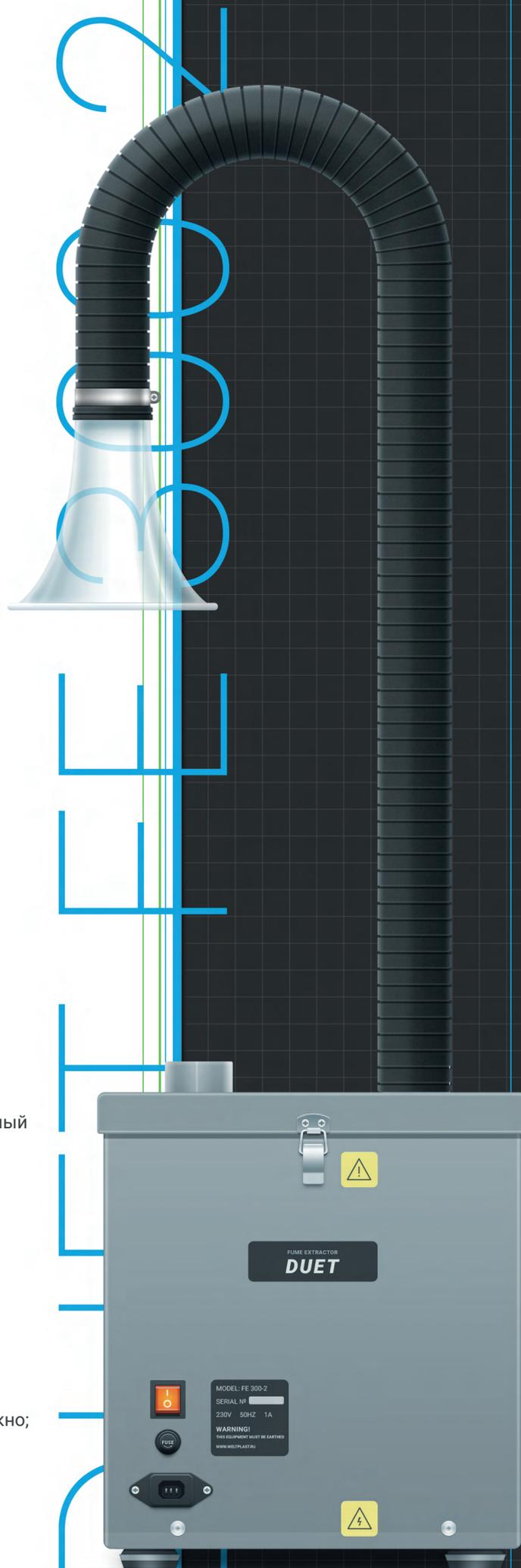


- Фильтр HEPA-13 (эффективность 99.97%);
- Газовый фильтр – гранулированный активированный уголь;
- Корпус фильтра – сталь, окрашенная в любой цвет по желанию заказчика, на цену это не влияет.

Характеристики предварительного фильтра



- Материал фильтра – стекловолокно;
- Эффективность – класс F7 (96% до частицы до 2 микрон).



THE ISSUE PERSON

- 4 The Secret of HARTING Quality: Under No Circumstances Can Any Product be Returned by the Customer!

MARKET

- 6 Russian Market News
- 12 The Automotive Industry as an Engine of Progress in Electronics. Part 2. Electric Cars, Their Prospects and Intermediate Options
Sergey Volkovoy

MODERN TECHNOLOGIES

- 16 Dielectric Breakthrough. Modern Mass Production of Technical Dielectrics at the Level of International Standards is Launched in Russia
Alexander Brixia, Igor Zalessky, Anna Ivanova
- 18 Open-Frame Metallization of Ceramic Substrates. Part 2
Yuriy Nepochatov

TOOLING AND EQUIPMENT

- 24 Acrylic Coatings to Protect Printed Circuit Boards and Components
Sergey Makhlov

ELEMENTS AND COMPONENTS

- 26 Modern High-Reliability TFT-LCD Modules by Mitsubishi Electric
Yuriy Petropavlovsky
- 30 Creating Graphical User Interfaces for STM32 Using STemWin
Oleg Valpa

DEVICES AND SYSTEMS

- 32 Powerful AC/DC Converters for Uninterruptible Power Systems
Sergey Korotkov, Anatoliy Lukin, Igor Solovoy
- 38 Problems of Testing for Compliance with the LoRaWAN Standard
Dmitriy Titov
- 42 Oscilloscopes and Probes for Measuring the Parameters of Semiconductor Devices Based on Silicon Carbide
Marcus Herdin

ENGINEERING SOLUTIONS

- 44 Using of C String Programming Functions to Control Alphanumeric Displays
Tatyana Kolesnikova
- 50 Device for New Year Tree
Sergey Shishkin

DESIGN AND SIMULATION

- 58 Using of Automatic Programming and the Spin Verifier to Solve the Problem of Controlling the Air Suspension of a Car
Maxim Neizvestnykh
- 64 The Advantages of PSpice in the Simulation of Analog-to-Digital Circuits
Alexander Akulin
- 68 Tracing in the Altium Designer Environment Using the ActiveRoute Tool
Alexey Yakubenko

COMPETENT OPINION

- 74 Questions of Terminology and Classification of Inverters. Part 1
Evgeniy Silkin

Журнал «Современная электроника»
Издаётся с 2004 года

Главный редактор А.А. Смирнов
Заместитель главного редактора Д.А. Карлов
Редакционная коллегия А.Е. Балакирев, В.К. Жданкин, С.А. Сорокин, А.Н. Туркин, Р.Х. Хакимов
Литературный редактор/корректор О.И. Семёнова
Верстка А.М. Бабийчук
Обложка Д.В. Юсим
Распространение И.С. Лобанова (info@soel.ru)
Реклама И.Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»
Генеральный директор К.В. Седов
Адрес учредителя и издателя:
ул. Чертановская, д. 50, корп. 1, г. Москва, 117534
Почтовый адрес: 119313, Москва, а/я 26
Тел.: (495) 232-0087 • Факс: (495) 232-1653
info@soel.ru • www.soel.ru

Производственно-практический журнал
Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз. Цена свободная

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (свидетельство ПИ № ФС77-18792 от 28 октября 2004 г.)
Свидетельство № 00271-000 о внесении в Реестр надёжных партнёров ТПП РФ

Отпечатано: ООО «МЕДИКОЛОП».
Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19, бизнес-центр Вэлдан
Тел./факс: (499) 903-6952

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

© СТА-ПРЕСС, 2018

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ «СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

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

ПОДПИСКА 2018

Концепция распространения журнала –
БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ.
Предусмотрена подписка на печатную или электронную версию журнала. Условие сохранения такой подписки – своевременное её продление каждый год.

ПЛАТНАЯ ПОДПИСКА С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

Преимущества:

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

ОФОРМЛЕНИЕ ПЛАТНОЙ ПОДПИСКИ

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

Подписное агентство «Урал-Пресс»:
Тел.: (495) 961-2362 • http://www.ural-press.ru

СОДЕРЖАНИЕ 6/2018

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

ADLINK	56
AUO	37
AVD Systems	8, 9, 15
Bulgin	75
CyberPower	11
EREMEX (Delta Design)	21
Fastwel	77
LiteMAX	23
Micrometals	57
ProChip	7
ProSoft	36
Schaefer	22
TDK-Lambda	35
XLight	49
XP Power	13, 67
АРБЕЛОС	72
ДОЛОМАНТ	63
МОРИОН	8
ПРОТЕХ	1, 8, 25
Роде и Шварц	4-я стр. обл.
РТСофт	10
СИММЕТРОН	27
ТЕСТПРИБОР	2-я стр. обл., 6, 41
ЭЛЕКОНД	33

ПЕРСОНА НОМЕРА

- 4 Секрет качества HARTING: ни одно изделие ни при каких обстоятельствах не может быть возвращено заказчиком!**

РЫНОК

- 6** Новости российского рынка
- 12** Автопром как двигатель прогресса в электронике. Часть 2. Электромобили, их перспективы и промежуточные варианты
Сергей Волковой

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 16** Диэлектрический прорыв. В России запускается современное массовое производство технических диэлектриков на уровне международных стандартов
Александр Брикса, Игорь Залесский, Анна Иванова
- 18** Бестрафаретная металлизация керамических подложек. Часть 2
Юрий Непочатов



ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- 24** Акриловые покрытия для защиты печатных плат и компонентов
Сергей Махлаков

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 26** Современные TFT-LCD-модули высокой надёжности компании Mitsubishi Electric
Юрий Петропавловский
- 30** Создание графических интерфейсов пользователя для STM32 с использованием STemWin
Олег Вальпа

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

- 32** Мощные AC/DC-преобразователи для систем бесперебойного электропитания
Сергей Коротков, Анатолий Лукин, Игорь Соловьёв
- 38** Проблемы тестирования на соответствие стандарту LoRaWAN
Дмитрий Титов
- 42** Осциллографы и пробники для измерения параметров полупроводниковых приборов на основе карбида кремния
Маркус Хердин



ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 44** Применение функций обработки строк языка программирования C для управления буквенно-цифровыми дисплеями
Татьяна Колесникова
- 50** Устройство для новогодней ёлки
Сергей Шишкин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 58** Применение автоматного программирования и верификатора Spin для решения задачи управления пневмоподвеской автомобиля
Максим Неизвестных
- 64** Преимущества программы PSpice при моделировании аналого-цифровых схем
Александр Акулин
- 68** Трассировка в среде Altium Designer с помощью инструмента ActiveRoute
Алексей Якубенко

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

- 74** Вопросы терминологии и классификация инверторов. Часть 1
Евгений Силкин

Секрет качества HARTING: ни одно изделие ни при каких обстоятельствах не может быть возвращено заказчиком!

Филип Хартинг, председатель совета директоров HARTING Technology Group, в интервью нашему журналу рассказал об истории компании, её развитии, современных трендах, внедряемых инновациях, а также затронул тему российского представительства, которое в этом году отмечает свой 25-летний юбилей.

Господин Хартинг, расскажите немного о создании компании.

Компания HARTING была основана в 1945 году моим дедом, инженером Вильгельмом Хартингом. Концепцию штекерного разъёма он заимствовал из своей предыдущей деятельности. Первоначально компания выпускала бытовые приборы, такие как вафельницы и утюги, кухонные плиты, энергосберегающие лампы и электрозажигалки. С середины 1950-х годов ассортимент был расширен: в него вошли музыкальные автоматы, электропроигрыватели, магнитофоны, автоматы по продаже сигарет и первые штекерные разъёмы.

Какие основные вехи в истории компании HARTING

Вы бы отметили?

Важным этапом стала стратегическая ориентация на интернационализацию, начавшаяся в конце 1970-х годов. В последующие десятилетия были созданы многочисленные дочерние компании, в том числе в России (в 1993 году), а также производственные мощности за рубежом. В то же время ассортимент постоянно расширяется, и компания HARTING развивается в направлении от чистого производителя компонентов к поставщику систем и комплексных решений, предлагая (в сотрудничестве с компаниями-партнёрами) аппаратное и программное обеспечение из одного источника.

Каково положение HARTING сегодня?

Технологическая группа HARTING является одним из ведущих мировых поставщиков промышленной техники, соединений для передачи данных, сигналов и энергии и в 2016/2017 финансовом году достигла объёма

продаж в €672 млн. Компания является производителем штекерных соединителей и машинного оборудования. Число возможных вариантов и областей применения продукции и сложность систем, машин и технологических процессов требуют целостного, сетевого мышления и выпуска продуктов с внедрёнными информационными технологиями. Такие направления, как цифровизация и Индустрия 4.0, становятся всё более важными для нас.

Расскажите подробнее об исследовательском центре компании.

В центре качества и технологий компании HARTING (HQT), который был открыт в 2014 году, разрабатываются и тщательно тестируются новые продукты и технические решения. Примерно 5–6% выручки ежегодно инвестируется в разработку новых изделий. Продолжительность разработки нового продукта до достижения им рыночных кондиций зависит от вида продукции и других конкретных условий, таких как, например, национальное законодательство. Важнейшими рынками для HARTING являются ориентированные на будущее сектора, такие как автоматизация, транспорт, энергетика, технологии для проведения массовых мероприятий, робототехника и автомобилестроение в рамках серийного производства или по индивидуальным заказам, вплоть до единичных изделий.

В чём секрет успеха компании HARTING?

Секрет успеха технологической группы HARTING – это принцип обеспечения абсолютного качества: ни одно изделие ни при каких услови-

ях не может быть возвращено заказчиком! Кроме того, мы строго ориентируемся на потребности и требования наших клиентов. Имея более 40 дочерних компаний и производственные мощности на 4 континентах и изучая соответствующие национальные рынки, пожелания и требования клиентов, мы можем совместно с ними разрабатывать технические решения и реализовывать их быстро и эффективно.

Расскажите о деятельности компании в сферах цифровой экономики и Индустрии 4.0.

Благодаря своим техническим решениям, компонентам и инновационным предложениям, а также сотрудничеству с научно-исследовательскими институтами, в т.ч. в США и Китае, компания HARTING является участником и пионером Индустрии 4.0, поднимая производство и бизнес-процессы, а также отношения с клиентами и поставщиками на новый уровень. В рамках цифровизации HARTING предлагает своим заказчикам индивидуальные решения, как при серийном производстве, так и при выпуске единичных изделий, обеспечивающие соблюдение конкретных функциональных требований и применимые для конкретных приложений. Компания приступила к комплексной цифровизации всех производственных и бизнес-процессов и сосредоточится на решении проблем цифровизации в своём новом логистическом центре, который должен вступить в строй в 2019 году, чтобы удовлетворять потребности клиентов в индивидуальных решениях и их быстрой реализации. Воплощение идеи Smart factory тестируется в нашем собственном производстве. Партнёрские отношения играют важную роль в разработке новой продукции, а также обеспечивают дополнительные преимущества для клиентов. Ассортимент постоянно пополняется новыми разъёмами, которые имеют дополнительные функции и области применения.

На какой стадии цифровизации находится компания в данный момент?

Цифровизация – это бесконечный процесс. Все технологические процессы проверяются на возможность цифровизации. Наш девиз гласит: цифровизация внедряется везде, где это возможно и имеет смысл.

Насколько производства HARTING в России готовы соответствовать указанным трендам?

Компания HARTING инициировала комплексный процесс цифровизации предприятий, всех их производственных и бизнес-процессов. Это касается в том числе и зарубежных производственных мощностей.

В какой продукции HARTING заинтересованы российские производители?

HARTING Russia производит кабельные сборки для железнодорожных пассажирских вагонов в Екатеринбурге. В растущей и развивающейся российской экономике существует большой спрос на высококачественные кабельные узлы для транспорта, энергетики, машиностроения, автоматизации и телекоммуникаций.

Какие результаты достигнуты за 25 лет существования российского представительства?

Эти четверть века стали важным и значительным этапом в развитии технологической группы. За это время HARTING Russia превратилась в крупную российскую компанию, в которой работает в общей сложности 90 сотрудников в Москве, Ростове-на-Дону, Санкт-Петербурге и Екатеринбурге, где производятся кабельные сборки для компании «Уральские локомотивы».

Что вы думаете о локализации производства в России?

На производстве в Екатеринбурге работают 35 сотрудников. Достигнутые успехи являются стимулом для нас продолжать избранный путь. В 1993 году мы отважились выйти на этот рынок. В то время это было связано с неопределённостями и рисками с учётом ситуации в стране. Сегодня мы знаем: это решение было правильным! Мы выпускаем продукцию там, где находятся наши клиенты, хотим знать их потребности и тре-



Филип Хартинг

бования, а также совместно разрабатывать технические решения. Так мы создаём добавочную стоимость на местах. Вот почему мы убеждены в том, что у HARTING Russia большое будущее.

Что общего между российскими и европейскими клиентами?

Каждая страна имеет свои собственные экономическую культуру, экономические традиции, сформированные историей и опытом, но, независимо от обстоятельств, всех клиентов объединяют знания и опыт: для реализации проектов требуются прочная основа, компоненты, приложения, технические решения, ноу-хау и обслуживание – вот что предлагает HARTING Russia. Мы инновационная компания, наша компетентность, наше качество и надёжность позволяют найти общий язык со всеми клиентами по всему миру.

Какую роль играет семья в бизнесе компании?

С момента основания компания HARTING представляет собой семейное предприятие, управляемое владельцем, теперь во 2-м и 3-м поколениях. Я внук основателя компании, а с октября 2015 года руковожу технологической группой, будучи председателем правления, в состав которого также входят мои родители Дитмар и Маргрит Хартинг и моя сестра Мареса Хартинг-Герц, а также три менеджера, не являющиеся членами нашей семьи. Обеспечение экономической независимости является наивысшим приоритетом. Решения подготавливаются и принимаются правлением коллективно. Иногда не все члены семьи придерживаются одного мнения – тогда возникает дискуссия, которая продолжается до тех пор, пока не будет найдена общая линия, ведь все члены семьи всегда хотят только лучшего для компании.



Новости российского рынка

СОБЫТИЯ

VII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭМС-2018» СОСТОЯЛАСЬ!

С 17 по 18 мая 2018 года в Москве прошла VII Всероссийская научно-техническая конференция «ЭМС-2018».

Организатором мероприятия традиционно выступила компания «ТЕСТПРИБОР». В этом году конференцию поддержали ФГУП «ВНИИФТРИ», АО «КРЭТ», ФГУП «МНИИРИП».



В конференции приняли участие около 130 человек, представляющие более 60 предприятий России и ближнего зарубежья.

В течение 2 дней участники заслушали 30 докладов на различные темы.

Большой интерес вызвали доклады об изменениях в нормативной базе по проведению испытаний на ЭМС, об особенностях проведения испытаний различных устройств для АЭС, о практических особенностях проведения испытаний на ЭМС и возможностях современных лабораторий.

Участники активно обсуждали перспективные разработки в области обеспечения ЭМС, вопросы использования TEM, GTEM и реверберационных камер, проблемы обеспечения ЭМС в различных отраслях промышленности.

Докладчики и участники выразили удовлетворение организацией и содержательной частью конференции, а также поддержали необходимость ежегодного проведения подобных мероприятий.

Научно-техническая конференция «ЭМС» зарекомендовала себя в качестве серьезной площадки для создания конструктивного диалога между профессионалами, работающими в области ЭМС.

Следующая Всероссийская научно-техническая конференция «ЭМС» пройдет в Москве в мае 2019 года.

www.test-expert.ru

Тел./факс: (495) 657-87-37

ПРИОБРЕТЕНИЕ GLASSMAN HIGH VOLTAGE КОМПАНИЕЙ XP POWER РАСШИРЯЕТ ЦЕЛЕВОЙ РЫНОК И ПРОДУКТОВУЮ ЛИНЕЙКУ

Компания XP Power, известный разработчик и производитель ответственных энергетических решений для электронной промышленности, объявила о приобретении бизнеса и активов компании Glassman High Voltage Inc., разработчика и производителя высоковольтных источников питания высокой мощности.



Сделка на сумму \$44,5 млн расширяет предложения XP Power в области стандартных, модифицированных и заказных высоковольтных преобразователей высокой мощности. Типичные применения включают оборудование для производства полупроводников, вакуумные и плазменные технологические процессы, аналитические приборы, медицинское диагностическое и испытательное оборудование.

У Glassman и XP Power есть несколько общих заказчиков, при этом прямого совпадения в продуктовых линейках двух компаний не имеется – их решения в области источников питания дополняют друг друга. Кроме того, сделка позволит XP Power получить новых заказчиков, особенно в промышленных и технологических отраслях.

Дункан Пенни (Duncan Penny), исполнительный директор XP Power, заявил: «Мы рады принять Glassman в группу компаний XP Power и уверены, что эта сделка предоставит нам новые возможности. Компания Glassman точно соответствует нашей стратегии роста в области высоковольтных и вы-

соковольтных изделий; с её помощью мы сможем сделать совершенным наш ассортимент продукции и расширить целевой рынок. Это наше третье подобное приобретение за последние два года – теперь мы можем предложить полный набор продукции, от миниатюрных маломощных модулей до высоковольтных, монтируемых в стойки высоковольтных решений. Мы уверены, что у Glassman блестящее будущее в качестве части XP Power».

www.prosoft.ru

Тел.: (495) 234-06-36

АО «ТЕСТПРИБОР» ЯВЛЯЕТСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМ ДИСТРИБЬЮТОРОМ FLANN MICROWAVE НА ТЕРРИТОРИИ РФ

Основанная в 1956 году компания Flann Microwave Limited специализируется на разработке и производстве высокоточного, качественного и эффективного СВЧ-оборудования частотного диапазона от 320 МГц до 500 ГГц.



Компания помогает решать задачи по проектированию СВЧ-систем при наличии ограничений к габаритным размерам, массе, а также по разработке многофункциональных сборок, применяя при этом отдельные компоненты или готовые блоки, сохраняя время заказчика.

Продукция компании включает в себя волноводные компоненты стандартной и специальной конфигурации, антенны, электрические сборочные узлы и программируемое оборудование для работы в частотном диапазоне от 320 МГц до 500 ГГц для прямоугольного волновода и от 2 до 40 ГГц для H-образного.

Компания «ТЕСТПРИБОР» является официальным дистрибьютором Flann Microwave на территории РФ и предлагает полный ассортимент волноводных компонентов и оборудования.

Приглашаем к сотрудничеству новых партнеров!

www.test-expert.ru

Тел.: (495) 657-87-37

Компания HARTING ПРЕЗЕНТОВАЛА УСПЕШНЫЕ ПРОЕКТЫ НА ВЫСТАВКЕ HANNOVER MESSE 2018

С 2016 г. компания HARTING сотрудничает с системными интеграторами и ИТ-специалистами, состоящими в сообществе MICA.network, в области разработок решений для анализа, контроля и обмена данными между оборудованием и системами. В данный момент в сообществе состоит более 27 компаний. Результаты работы и реализованные проекты с применением вычислительной промышленной платформы MICA от HARTING были продемонстрированы на стенде HARTING (hall 11/C15) на международной выставке HANNOVER MESSE 2018 в Ганновере. Доступ к обработке данных из цеха часто является самым большим препятствием для концепций Industrie 4.0. Партнёры MICA.network представили различные примеры решения этой задачи в рамках совместных проектов на HANNOVER MESSE.

Так, например, SDI Innovation представила свой новый программный инструмент Bluebox.SDI для мониторинга, визуализации и анализа реальных и целевых условий для производственного оборудования, такого как станки с ЧПУ, машины для литья под давлением и производственные линии. Инструмент имеет встроенные приложения, такие как расчёты TPM, OEE и анализ ситуаций. При установке на MICA® Bluebox.SDI можно быстро и легко применять в производственной системе в децентрализованном режиме.

«От датчика к облаку» – лозунг этого года для akquinet AG. Компания исполь-



зует новый датчик CISS от Bosch, который регистрирует физические параметры, такие как температура, влажность, вибрация и наклон, акустика, давление, магнитное поле. Датчики, а также MICA® от HARTING предлагаются как аппаратное обеспечение. С добавлением услуг анализа и визуализации от akquinet операторы машин могут осуществлять эффективный, всесторонний мониторинг состояния на разных машинах сразу в локальном месте. Посетители смогли увидеть и другое применение: MICA® преобразует аналоговые сигналы от углового передатчика в цифровые с целью дальнейшего их мониторинга. Для этого akquinet использует MICA® с печатной платой ввода-вывода от DWave. DWave – итальянская компания, специализирующаяся на аппаратном обеспечении, один из последних партнёров, присоединившихся к сети MICA.network.

Специальная функциональная плата для модульного оборудования обрабатывает аналоговые и цифровые сигналы в реальном времени.

Две компании-партнёра фирмы HARTING, PCO и nemetris, используют MICA®, например, в качестве считывателя RFID с возможностями граничных вычислений для собственных логистических решений.

PCO демонстрирует блок процесса производственного заказа. Управление заказами через мобильное портативное устройство и RFID-идентификаторы, встроенные в машины, находятся в постоянном взаимодействии между собой и с системой. С добавлением базы данных на основе данных анализа также может быть внедрено прогностическое обслуживание машин.

JIS от nemetris – это комплексная система «всё по порядку», которая тесно связана с производством и охватывает все процессы – от получения заказа через EDI путём последовательного и оперативного управления производством до отгрузки заказа и реализации прослеживаемости всех этапов. Система JIS может работать в автономном режиме. Дополнительная система резервного копирования не требуется для обеспечения непрерывного производства и поставок. JIS имеет модульную конструкцию и легко может быть интегрирована в существующую инфраструктуру. Реализована круглосуточная поддержка с обслуживанием по требованию и быстрым временем отклика.

Официальным дистрибьютором Harting на территории России является компания «ПРОЧИП».

www.prochip.ru
Тел.: (495) 232-25-22



ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

**БОРТОВЫЕ КОРПУСА ATR
ДЛЯ МОДУЛЕЙ ФОРМАТА 3U
С ТЕПЛОТВОДОМ ДО 110 Вт/слот**

Компания CM Computer (Севиля, Испания) специализируется на разработке и производстве корпусов формата ATR (Air Transport Rack) для высокопроизводительных бортовых вычислительных систем с высокой рассеиваемой мощностью. Новая линейка герметичных корпусов для модулей формата 3U с кондуктивным охлаждением позволяет устанавливать модули с выделяемой мощностью до 110 Вт на слот.



Корпуса CM-ATR-3U выпускаются в четырёх вариантах: на 3, 5, 7 и 9 слотов с соответствующей рассеивающей способностью 320, 400, 450 и 500 Вт. Шаг установки модулей – 1 дюйм. Объединительная панель (backplane) может быть 3U VPX или cPCI-S (CompactPCI Serial).

По внутренней компоновке корпус состоит из четырёх изолированных друг от друга отсеков: передней панели, полезной нагрузки (плат), блока питания и задних вентиляторов. Теплоотвод от плат производится по тепловым трубкам к четырём теплообменникам, расположенным в двух боковых стенках, верхней крышке и в задней панели корпуса; охлаждение самого корпуса производится с помощью двух вытяжных вентиляторов в задней панели. Варианты на 3/5/7/9 слотов содержат соответственно 4/8/12/16

тепловых трубок, диаметр которых составляет 8 мм. Корпуса также содержат вентилятор внутренней рециркуляции воздуха для ликвидации локальных перегревов.

Варианты при заказе: встроенные источники питания до 825 Вт с различными вариантами входного напряжения постоянного и переменного тока, стандартная или заказная передняя панель с внешними разъёмами, 10 вариантов цвета корпуса с нанесением логотипа заказчика на переднюю панель.

Компания CM Computer производит ATR-корпуса с 1993 года. На сегодняшний день выпускается 39 моделей корпусов различных конфигураций и методов внешнего охлаждения с объединительными панелями (backplane) VME64x, VPX/OpenVPX, cPCI/cPCI-S и комбинированными VPX-VME, cPCI-VME.

Использование готового коммерческого (COTS) корпуса позволит значительно сократить время на создание прототипа изделия и провести собственную разработку корпуса для серийных образцов с учётом результатов отработки на прототипе.

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

**МИНИАТЮРНЫЙ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ
ПРЕЦИЗИОННЫЙ МАЛОШУМЯЩИЙ
КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР
ГК219-ТС**

АО «МОРИОН» (Санкт-Петербург), ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства кварцевых приборов стабилизации и селекции частоты, представляет миниатюрный высокочастотный прецизионный малошумящий кварцевый генератор ГК219-ТС. Последние достижения в схемотехнике кварцевых генераторов и постоян-

ные конструктивно-технологические улучшения в производстве прецизионных резонаторов позволили обеспечить уровень фазовых шумов при отстройке на 100 МГц:

- 10 Гц – до –100 дБ/Гц;
- 100 Гц – до –130 дБ/Гц;
- 1000 Гц – до –150 дБ/Гц;
- 10 000 Гц – до –165 дБ/Гц;
- 100 000 Гц – до –168 дБ/Гц.

Низкий уровень фазовых шумов во всём диапазоне отстроек в сочетании с малыми габаритами корпуса (26×26×10,3 мм) и высокой стойкостью к ВВФ делает данный генератор идеальным решением для широкого спектра специальных применений и поставляется в категории качества ВР. В настоящее время генератор выпускается в диапазоне частот 48–125 МГц.



Показатели температурной нестабильности частоты достигают 5×10^{-8} в широком интервале рабочих температур. Долговременная стабильность частоты обеспечивается на уровне до 3×10^{-7} /год. ГК219-ТС имеет малое время установления частоты (<5 мин), синусоидальный выходной сигнал и напряжение питания 12 В.

Дополнительная информация об этих и других новых приборах доступна на сайте АО «МОРИОН».

www.morion.com.ru
Тел.: (812) 350-75-72, (812) 350-92-43

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

**ПЛАНЕТАРНЫЙ МИКСЕР
ПАЯЛЬНОЙ ПАСТЫ «СОЛО»**

Миксер «СОЛО» предназначен для подготовки паяльной пасты к работе.



Он представляет собой центрифугу, содержащую вращающееся коромысло, на одном конце которого закреплён наклонный держатель банки с паяльной пастой, а на другом – автоматически регулируемый противовес.

Миксер может быть оснащён блоком вакуумирования для дегазации веществ.

Также на базе миксера разработана центрифуга для сепарирования различных веществ.

Характеристики:

- метод перемешивания – планетарное перемешивание;
- таймер от 1 до 99 мин;

- паста – в контейнерах или шприцах; основной держатель под банки паяльной пасты Indium; для банок других производителей применяются дополнительные вкладыши;
- количество перемешиваемых банок – 1 шт.;
- вес контейнера с пастой – до 800 г;
- тип балансировки – автобалансировка;
- безопасность – детектор открытой дверцы, детектор вибрации на основе 3-осевого датчика ускорения, кнопка аварийной остановки;
- блок вакуумирования (опция).

www.protehnology.ru
Тел./факс: (495) 662-96-25

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СИМУЛЯТОРУ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ WIND RIVER SIMICS ИСПОЛНЯЕТСЯ 20 ЛЕТ

В 1998 году шведская компания-стартап Virtutech вышла на рынок с продуктом Simics, разработанным в институте компьютерных наук SICS (Swedish Institute of Computer Science). Целью разработки было создание модели вычислительной системы, которая позволяет исполнять на этой модели реальное программное обеспечение (например, операционную систему или сетевой стек) в двоичном коде без какой-либо модификации и перекомпиляции, но со скоростью, приемлемой для практического применения, например для тестирования и отладки. В 2010 году Virtutech была приобретена компанией Wind River.

Simics коренным образом меняет жизненный цикл аппаратно-программного продукта. При традиционном последовательном подходе сначала разрабатывается аппаратная часть, потом к работе приступают программисты, и после написания отдельных программных модулей проводится этап интеграционного тестирования. Такой подход чреват тем, что самые «дорогие» ошибки выявляются на самых поздних этапах разработки. Simics не только позволяет вести разра-

ботку аппаратного и программного обеспечения параллельно, но и производить интеграционное тестирование на этапах, когда итерации разработки ещё не ведут к критическим задержкам сроков проекта.

Кроме опережающей разработки ПО, Simics предоставляет много возможностей, недоступных обычным отладчикам и даже средствами OCD (On-Chip Debugging). Можно сделать полный останов всех компонент системы одновременно, например синхронно всех ядер многоядерного микропроцессора вместе с периферийными устройствами и даже данными, «летающими» по шинам и сетям, и исполнить программу реверсивно (в обратном направлении) для поиска первопричины возникшего сбоя. Симулятор Simics умеет трассировать любую, даже внутреннюю информацию процессоров и устройств и сохранять её, в том числе с временными метками, для последующего анализа. В Simics можно имитировать аппаратные ошибки (fault injection), например обрыв кабеля связи или срабатывание датчика перегрева микропроцессора, для отладки обработчиков исключительных ситуаций (exception handlers). С помощью Simics можно проводить what-if-анализ («что будет, если») при стресс-тестировании, например для поиска уязвимостей в критически важных с точки зрения информационной безопасности системах.

Сегодня в библиотеке моделей Simics сотни микропроцессоров и контроллеров (памяти, прерываний, прямого доступа, шин, интерфейсов и сетей). На базе моделей Simics можно построить иерархическую модель системы-на-кристалле, платы, многоплатного блока и распределённой многоблочной системы. В семейство продуктов Simics входит инструмент для разработки новых моделей или для модификации библиотечных моделей.

Согласно публикации Gartner «Top 10 Strategic Technology Trends 2018», одной из ключевых технологий 2018 года будут «цифровые двойники» (digital twins) – компьютерные модели физических объектов, управляемые данными из реального мира. Объединение физической модели объекта с моделью компьютерной системы управления этим объектом и исполнение реального управляющего ПО даёт возможность создания «цифровых двойников», максимально приближенных к реальности.

Согласно публикации Gartner «Top 10 Strategic Technology Trends 2018», одной из ключевых технологий 2018 года будут «цифровые двойники» (digital twins) – компьютерные модели физических объектов, управляемые данными из реального мира. Объединение физической модели объекта с моделью компьютерной системы управления этим объектом и исполнение реального управляющего ПО даёт возможность создания «цифровых двойников», максимально приближенных к реальности.

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

Как сделать процесс разработки встроенного ПО независимым от степени готовности аппаратуры ?



Используйте Wind River Simics - симулятор цифровых электронных систем



Дистрибьютор Wind River в РФ - ООО «АВД Системы» - (916) 194-4271, avdsys@aha.ru
www.avdsys.ru/simics

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

АО «РТСофт» анонсирует доступность модулей COM Express на базе Intel® Core™/Xeon® E 8-го поколения с 6 ядрами на борту

АО «РТСофт» и международный холдинг Kontron AG анонсируют старт продаж нового поколения компьютеров-на-модуле в стандарте PICMG COM.0 R3.0 COM Express Type 6 (COMe-bCL6) на базе 8-го поколения встраиваемых микропроцессоров компании Intel® Core™/Xeon® E (кодовое название – Coffee Lake), выполненных в соответствии с техпроцессом 14++ нм, с коммерческой доступностью не менее 7 лет.

Аппаратура COM Express на базе 8-го поколения Intel® Core™/Xeon® E устанавливает новые стандарты производительности, энергоэффективности, функциональности и защищённости для быстрой разработки самых разнообразных целевых приложений, где критически важно минимизировать важнейшие критерии конструирования встраиваемого оборудования SWaP-C (габариты (Size), вес (Weight), энергопотребление (Power) и стоимость (Cost)) наряду с обеспечением высоких показателей надёжности.

В линейку embedded-микропроцессоров Intel, доступных для нового поколения COM Express, включены:

- Xeon® E-2176M: 12 МБ SmartCache, 6 ядер 2,7/4,4 ГГц, GT2 Ultra HD P630, TDP 45/35 Вт, CM246;
- Core™ i7-8850H: 8 МБ SmartCache, 6 ядер 2,6/4,3 ГГц, GT2 Ultra HD 630, TDP 45/35 Вт, QM370;
- Core™ i5-8400H: 8 МБ SmartCache, 4 ядра 2,5/4,2 ГГц, GT2 Ultra HD 630, TDP 45/35 Вт, QM370.

Новые модули обеспечивают поддержку до 64 ГБ DDR4 2666 ECC со скоростью до 41,8 ГБ/с, имеют опциональный бортовой NVMe SSD до 1 ТБ, поддерживают работу 3 независимых графических интерфейсов (DisplayPort/HDMI/eDP) с разрешением до 4096×2304 @ 60 Гц и аппаратным кодированием/декодированием мультимедийного контента, включая HEVC 10 бит.

Разработчики собственного целевого оборудования на основе модулей COMe-bCL6 по достоинству оценят удобства создания подсистем ввода/вывода на базе гибко конфигурируемого PCI Express 3.0, функционал 4×USB 3.1 с поддержкой до 10 Гбит/с, развитость BIOS/EFI AMI Aptio V, поддержку Intel Optane и великолепные возможности архитектуры 8-го поколения по админи-



стрированию, оптимизации, кибербезопасности и совместимости.

Модули COMe-bCL6 доступны в 3 рабочих температурных диапазонах эксплуатации: от 0 до +60°C, от –25 до +75°C и от –40 до +85°C, что гарантирует большой набор преимуществ по созданию совместимого оборудования самого широкого назначения по оптимальной цене.

Использование новых модулей гарантирует разработчикам максимум свободы и удобства в выборе операционных систем класса Windows, Linux, QNX, VxWorks, LynxOS и современных инструментальных средств разработки для реализации практически всех важнейших концепций применения передовой вычислительной техники подобного класса: IoT, IIoT, MIoT и принципов конструирования ответственной COTS-аппаратуры.

Применение модулей COMe-bCL6 обеспечивает возможность быстро и бюджетно вывести на рынок конкурентоспособные отечественные конечные решения мирового уровня для промышленных, транспортных, телекоммуникационных, медицинских и иных приложений.

Модули доступны для заказа. Планируемый срок коммерческой доступности – не менее 7 лет, что делает их великолепной платформой для разработки любых критичных к надёжности и длительности жизненного цикла приложений.

Модули COMe-bCL6 на базе поколения Coffee Lake Intel® Core™/Xeon® E будут валидированы для серийных отечественных промышленных платформ BLOK Industrial и BLOK Rugged в течение III квартала 2018 года. Предсерийные образцы линеек BLOK для новых стартапов на базе Xeon E и Core i7 8-го поколения доступны для заказа уже сейчас.

О КОМПАНИИ

АО «РТСофт» – инженерно-производственная научно-техническая компания. 26-летний опыт и глубокие компетенции позволяют предлагать предприятиям различных отраслей самые современные средства и системы автоматизации. Отраслевая компетенция: электроэнергетика, атомная промышленность, нефтегазовый сектор, металлургия, транспорт, приборостроение, ИТ, телекоммуникации и связь, автоматизация зданий и ЖКХ.

Решения «РТСофт» базируются на передовых линиях аппаратных и программных средств отечественных и зарубежных производителей, а также собственной разработки и производства.

Благодаря эффективно выстроенной кооперации с российскими и зарубежными технологическими и производственными партнёрами, международными ассоциациями и органами стандартизации, компания предлагает самое современное оборудование и инновационные решения.

Одним из стратегических партнёров компании является международный холдинг Kontron. АО «РТСофт» является дистрибьютором и уполномоченной компанией по продаже продукции и решений Kontron в области встраиваемых компьютерных систем в России и странах СНГ на эксклюзивной основе.

Уникальный инженерно-технический персонал, глубокие знания специфики различных отраслей народного хозяйства и наличие всех необходимых лицензий и сертификатов, в том числе TÜV NORD CERT на соответствие международному стандарту ISO 9001:2008, гарантируют высокий уровень сервиса «РТСофт».

С дополнительной информацией о модулях COMe-bCL6 можно ознакомиться на сайте www.kontron.com или в офисах «РТСофт».

КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ИБП



ПОСТАВКА, ПУСКОНАЛАДКА, ИНТЕГРАЦИЯ

Широкий ассортимент ИБП, включая модели:

- для альтернативной энергетики
- для приложений с нестабильным основным питанием



Автопром как двигатель прогресса в электронике

Часть 2. Электромобили, их перспективы и промежуточные варианты

Сергей Волковой (svolkovoy@gmail.com)

Одной из главных сложностей в распространении электротранспорта является отсутствие инфраструктуры мощных зарядных станций. Гибридные автомобили дают возможность использовать существующую сеть автозаправочных станций. Электронные компоненты для электротранспорта уже существуют и продолжают совершенствоваться.

В первой части статьи рассматривался вопрос о влиянии автопрома на электронную промышленность и было выяснено, что влияние это очень существенное. В совокупном отношении автопром потребляет гораздо больше электронных компонентов, чем, например, авиация, космос и даже ВПК. В связи с этим ёмкость автомобильного рынка при условии внедрения транспорта с электрической тягой имеет потенциал к обеспечению достаточного спроса на электронные компоненты и выведению российской отрасли ЭКБ из состояния упадка.

В чём причина нынешнего бума электротранспорта, по меньшей мере информационного, ведь электромоторы известны человечеству уже более 100 лет? Дело в том, что за термином «электромотор» скрывается много разновидностей электрических машин. Первыми в обиход вошли двигатели с коллекторным узлом, где через скользящий контакт щёток передаётся ток на ротор электромотора. Для того чтобы такой мотор работал, нужно минимум управления, а часто достаточно его просто запитать. Проблема таких моторов в их быстром изнашивании, которое прямо пропорционально их мощности. Передача большого тока через скользящий контакт – дело не очень надёжное, а порой даже и опасное: многие видели, как сыплются искры между щётками и ротором электродвигателя. Тем не менее на таких моторах строили и трамваи, и троллейбусы, правда, коллекторные узлы требовали регулярного и квалифицированного обслуживания.

Были попытки применять такие электромоторы и на заре автомобилестроения. Например, с 1900-го года в автомобилях, получивших собирательное

название Lohner-Porsche (совместный проект Porsche, Штутгарт, и Lohner Werke, Вена), использовались мотор-колёса со щётчными двигателями. Энергия для таких колёс вырабатывалась генератором, который, в свою очередь, крутился обычным бензиновым двигателем. По сути, это был первый гибридный автомобиль. Сегодня его бы назвали «последовательный гибрид». Существовали и варианты со смешанным, гибридным, приводом: задние колёса – от ДВС, передние – электрические. Были также эксперименты и с чисто электрическими автомобилями: в этом случае энергия запасалась в аккумуляторных батареях.

Учитывая современные требования к надёжности, долговечности и безопасности, на транспорте целесообразно применять двигатели без скользящих контактов. Наибольшее распространение получили трёхфазные двигатели – синхронные и асинхронные.

Синхронные трёхфазные электромоторы обладают высоким КПД (порядка 95%), малыми размерами, а также свойством относительно лёгкой реализации генераторного режима, т.е. снятия мощности при одновременном осуществлении торможения. Собственно, такой режим, который называют рекуперативным торможением, и есть одно из главных достоинств электромобилей.

Недостатком синхронных электромоторов является использование в роторе постоянных магнитов. В современных мощных постоянных магнитах используется неодим – редкоземельный металл. Основные разведанные месторождения неодима находятся на территории Китая, что, безусловно, будет являться очень серьёзным под-

спорьем для КНР в части лидерства по производству синхронных электродвигателей. Собственно, и сегодня Китай является серьёзным игроком в данном сегменте. На международном рынке стоимость неодима высока, и перспектив крупных разработок альтернативных источников этого металла пока не обнаружено, что значительно сказывается и на цене материала. Обостряет ситуацию и растущий на него спрос.

Асинхронные трёхфазные двигатели не имеют в своей конструкции постоянных магнитов, что делает их более привлекательными по цене по сравнению с синхронными, при этом они не сильно им уступают. Да, КПД на несколько процентов ниже и габариты чуть больше, но это ухудшение характеристик несущественно. Кроме того, для управления асинхронными двигателями достаточно иметь только датчик оборотов, а вот синхронным зачастую нужны более дорогие датчики положения. Однако ложкой дёгтя в бочке мёда достоинств асинхронных машин является сложность реализации генераторного режима. В принципе, многие электромоторы могут быть и генераторами, но если с синхронного двигателя снять нагрузку легко (по сути, синхронный двигатель и генератор переменного тока – это одно и то же), то асинхронный двигатель в режиме генератора нужно разряжать переменным током с частотой ниже, чем частота вращения двигателя в данный момент времени. Здесь стоит напомнить, что в обыкновенном (моторном) режиме частота вращения асинхронного двигателя несколько отстаёт от частоты тока в обмотках его статора. Отставание частоты вращения от частоты тока называется скольжением. Скольжение – один из главных параметров асинхронной машины.

Тем не менее современный электропривод с режимом рекуперативного торможения реализуем как на синхронных, так и на асинхронных двигателях. Это, а также то, что данные машины используются в транспорте, стало возможным благодаря развитию силовой и управляющей электроники.

Вот пример того, насколько это важно. Асинхронные двигатели уже много десятилетий используются в насосах. Благодаря тому, что у них нет скользящих контактов, они очень надёжны и долговечны, а благодаря отсутствию дорогих постоянных магнитов – недорого, относительно, конечно. При этом их можно крутить, подключив к стандартной трёхфазной сети переменного тока. Беда только в том, что в этом случае их обороты не регулируются. Они крутятся с частотой, кратной частоте сети, минус отставание из-за скольжения. Кроме того, при пуске от сети переменного тока такие моторы испытывают серьёзные перегрузки (примерно в 7 раз больше номинальной), поэтому для мощных двигателей (от сотен киловатт) нормировали гарантированное количество запусков, и, зачастую, оно было очень небольшим: 10 раз и менее. Это значит, что такой двигатель, например на насосной станции, запускали один раз, и он работал годами, не выключаясь; однако, поскольку расход воды неравномерен, строили кольцевые трубопроводы, по которым такие насосы гоняли воду постоянно, а при необходимости открывались шлюзы для отбора и подачи воды к этой насосной системе.

На фоне современного курса на экологичность и энергосбережение такое решение может показаться форменным варварством или, как минимум, расточительством. Однако даже в 80-е годы, не говоря уже о 70-х и ранее, ни одна страна в мире не имела технологий управления мощными двигателями. Мощные тиристоры для реализации хотя бы безопасного пуска и снятия ограничения на количество запусков массово стали появляться только в начале 90-х. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT), впервые испытанные в 1984 году, вышли на рынок уже в 90-х, почти на рубеже веков. Именно IGBT сегодня являются основой силовых приводов, особенно на автомобилях, где источником энергии служит аккумулятор. Переменный ток, причём с управлением частотой, приходится преобразовывать из постоянного.

Именно с появлением мощных IGBT и развитием микропроцессоров стало возможно массовое производство современного электротранспорта, в т.ч. электромобилей. Вполне уверенно можно сказать, что на сегодняшний день и электромоторы, и системы их управления уже достаточно хоро-

ши и надёжны для массового применения, однако это не значит, что теперь отсутствует надобность в их дальнейшем совершенствовании. Путь для развития масса, особенно остро стоит вопрос снижения цены. Однако в целом системы управления уже вполне достигли того, чтобы как минимум не требовать квалифицированного оператора.

Здесь следует вновь вернуться к вопросу рекуперативного торможения. В школьном курсе физики изучается такое явление, как кинетическая энергия – энергия движущегося тела, которая вычисляется по формуле $E=mv^2/2$. Это значит, что для того, чтобы разогнать тело до этой скорости, было потрачено даже больше энергии, поскольку нужно учитывать также различные потери. Расход энергии, конечно, существует и при равномерном движении, но многие наблюдали, что во время разгона автомобиля мгновенный расход топлива очень сильно увеличивается. Собственно, это дополнительная мощность и уходит на разгон, увеличение кинетической энергии. В то же время энергия, необходимая для того, чтобы остановиться, сжигается тормозной системой – кинетическая энергия переходит в тепловую.

Рекуперативное торможение – это работа электромотора в режиме генератора при замедлении автомобиля (или иного транспортного средства). В данном случае кинетическая энергия не уходит на разогрев тормозов, а запасается в аккумуляторе. Конечно, тормоза в электромобилях тоже есть, как для экстренного торможения, так и на случай какого-либо отказа при торможении электронном (рекуперативном).

Об эффективности данного метода свидетельствует статистика расхода топлива, например гибридного автомобиля Toyota Prius, который в городе расходует меньше топлива, чем за городом, и гораздо меньше, чем обычные автомобили такого же класса. Это стало возможным именно благодаря рекуперативной системе торможения.

Таким образом, электромобили требуют больше электронных компонентов, чем обычные автомобили с ДВС. Это силовые ключи, различные контроллеры, датчики и т.п. Все эти компоненты нужно разрабатывать и производить в необходимых количествах, а для этого необходимы добыча и переработка ресурсов, производство материалов.

Понятно, что промышленность в целом и электронная в частности должны развиваться для выполнения этой



Компактные высоковольтные преобразователи напряжения



ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ И СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

Технические параметры

- Входное напряжение 5, 12, 24 В
- Выходные напряжения от 2 до 10 кВ
- Мощность от 2 мВт до 15 Вт
- Диапазон температур от -55 до +70°C
- Длительный ресурс

Применение

- Медицинская диагностика
- Научное оборудование
- Авиационно-космическая техника

PROSOFT®



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



Рис. 1. Аккумулятор для автомобиля Smart с электроприводом

задачи, а это и сложно, и дорого. Однако в данном случае, кроме очевидных затрат, видны ещё и перспективы: потенциальный рынок для производителей электроники и её компонентной базы и потенциальная польза для окружающей среды и людей.

Исходя из изложенного, возникает вопрос: если электропривод так хорош, почему электромобилей производится так мало? Ответ поможет дать более подробное рассмотрение источника энергии.

Основным источником энергии для электромобилей являются аккумуляторные батареи. Одним из основных параметров аккумуляторов является удельная плотность энергии – показатель, определяющий, сколько энергии, например в кВт·ч, может запасть аккумулятор на единицу объёма или массы. Соответственно, различают удельную плотность по объёму и удельную плотность по массе.

Эти параметры имеют большое значение, потому что на сегодняшний день размеры и масса аккумуляторов являются одними из главных ограничивающих факторов для широкого применения электромобилей. Например, сверхкомпактный двухместный автомобиль Smart в варианте с электрической тягой имеет аккумулятор весом 112 кг (см. рис. 1), при этом энергии, запасённой в нём, хватает в лучшем случае на 160 км пробега.

Другой проблемой аккумуляторов является то, что им требуется длительная зарядка. Уже упомянутый аккумулятор для автомобиля Smart имеет ёмкость 13 кВт·ч. В России подключение электрической мощности на одно домохозяйство в среднем составляет 15 кВт. Это значит, что, если в частном доме не будет включён ни один электро-

прибор и вся разрешённая энергия сети будет направлена на зарядку электромобиля, то полностью зарядить его удастся примерно за 1 ч; если же использовать для этого меньшую мощность, например 2 кВт, то на полную зарядку уйдёт 6,5 ч.

Как заряжать автомобиль Tesla с ёмкостью батарей, например, 85 кВт·ч, вполне можно себе представить исходя из вышеописанного. При этом вес такой батареи составляет уже не 112, а 500 кг. Правда, и запас хода у этого автомобиля больше, порядка 300 км.

Как можно видеть, чисто электрические (с аккумуляторным накопителем) автомобили имеют очень ограниченный запас хода и требуют очень много времени на то, чтобы восполнить заряд аккумулятора. Ни о каких поездках на большие расстояния речь при этом идти не может. Однако даже в таком виде электромобили уже начинают использоваться в определённых нишах, например для ежедневных поездок на работу на относительно небольшие расстояния (десять километров). Пример зарядной станции для таких автомобилей представлен на рисунке 2. Специальные электромобили также используют в горнодобывающей отрасли, в шахтах: в закрытом пространстве полное отсутствие выхлопа – ценное свойство.

Это не единственные проблемы аккумуляторов на электротранспорте, и далее вопросы, связанные с аккумуляторами и электроэнергией, будут рассмотрены более основательно. Здесь же стоит отметить, что именно из-за проблем с малой ёмкостью и необходимостью длительной зарядки аккумуляторных батарей начали разрабатываться и выпускаться гибридные автомобили раз-



Рис. 2. Общий вид зарядной станции для электромобилей

личных конфигураций с целью, с одной стороны, использования имеющейся инфраструктуры заправочных станций, а с другой – отладки электроприводов и сопутствующих систем, что во многом происходит за счёт покупателя. Созданную моду на электро- и гибридные автомобили не следует недооценивать.

Гибридных схем существует несколько:

- Мягкий гибрид – электромотор постоянно работает одновременно с ДВС без возможности отключения, помогая при разгоне и обеспечивая рекуперативное торможение. Мощность электромотора невелика, запас энергии для него – тоже, но топливная эффективность несколько повышается. Обычно для питания электромоторов в мягких гибридах используется безопасное напряжение 48 В.
- Полный гибрид – электромотор и ДВС могут отключаться независимо друг от друга. Возможно движение как только на электромоторе, так и совместное (электромотор + ДВС). Ёмкость аккумуляторной батареи больше, чем у мягких гибридов, но заметно меньше, чем у чисто электрических авто. Например, Toyota Prius имеет запас автономного электрического хода порядка 30 км. Аналогичные показатели и у других моделей.
- Последовательный гибрид – привод на колёса осуществляется только от электродвигателя, ДВС в этом случае работает только на электрогенератор. Такая схема была представлена в рекламных роликах несостоявшегося проекта «Ё-мобиль». Подобную же схему имеют электромобили BMW i3 с увеличенной дальностью хода: в чисто электрическом варианте она составляет порядка 200 км, а с расширите-

лем (range extender) это ограничение снимается. Примечательно, что двигатель в этих автомобилях небольшой и несложный: всего 0,65 л, 2 цилиндра.

Стоит отметить, что в случае гибридов, особенно последовательных, ДВС можно оптимизировать под КПД и цену. В случае обычных автомобилей необходимо, чтобы в широком диапазоне оборотов были обеспечены приемлемые характеристики тяги. Зачастую это идёт в ущерб общей эффективности. Удачные попытки «научить» ДВС работать эффективно в широком диапазоне оборотов существуют (например, Honda VTEC, Opel Twin port, BMW Vanos, Toyota VVTI), однако такие решения имеют и свою цену. И даже несмотря на это КПД бензиновых двигателей может достигать только порядка 25%, а дизельных – чуть больше 30%, причём в очень редких случаях.

Кроме того, электромобили можно строить без коробки передач, ограничившись только редуктором. При этом не нужен даже реверс, т.к. электромоторы легко можно заставить крутиться как в одну, так и в другую сторону. Однако такая схема нереализуема на

мягких и полных гибридах, где конструкция идёт только по пути усложнения (и коробка передач, и электромоторы с сопутствующей электроникой).

Как уже говорилось выше, мощность электромоторов мягких гибридов невелика, поэтому для них достаточно и 48 В, однако более серьёзные гибриды и полностью электрические автомобили вынуждены иметь аккумуляторные батареи высокого напряжения. У уже упоминавшегося двухместного Smart напряжение батареи составляет почти 400 В, а это предъявляет серьёзные требования к электрической безопасности.

Как видно, высказанное ранее утверждение о том, что автомобили создают серьёзный спрос на электронные изделия, подтверждается. И объём этих изделий при правильном подходе может вырасти ещё больше.

Стоит заметить, что на этом пути существует ряд проблем, в том числе и сильные позиции мировых лидеров автопрома на внутреннем рынке РФ. Несложно предположить, что, к примеру, концерну Renault-Nissan развитие российской электронной промышленности в луч-

шем случае безразлично, а возможно, и нежелательно. Поэтому существуют опасения, что французский автогигант не будет поддерживать как внедрение российских модулей на «АвтоВАЗе», так и самостоятельную разработку электротранспорта, поскольку Renault-Nissan продвигает уже готовые решения.

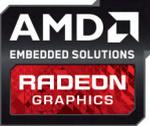
Несмотря на существенные объёмы даже внутреннего российского рынка автомобилей, нужно понимать, что электронные модули (управление двигателем, тормозами и проч.) в них преимущественно импортные, а по компонентной базе импорт приближается к 100%.

Для того чтобы переломить сложившуюся ситуацию, потребуются как работа инженеров и учёных, так и усилия гражданского общества и здоровых политических сил, а также немалая политическая воля. Зарубежные производители вряд ли будут спокойно смотреть, как их вытесняют с рынков, где они на данный момент доминируют, а по сути, безраздельно властвуют.

В следующей части статьи будут подробнее рассмотрены некоторые экономические аспекты развития электронной промышленности. ☺

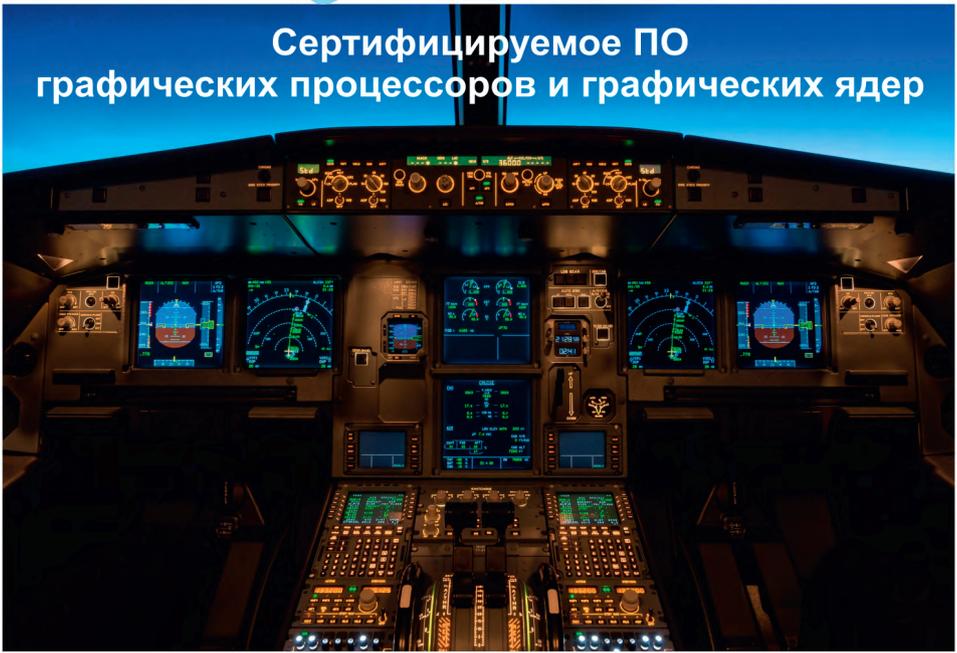


Сертифицируемое ПО графических процессоров и графических ядер
















Дистрибьютор CoreAVI в РФ - ООО «АВД Системы» - (916) 194-4271, avdsys@aha.ru

www.avdsys.ru/gpu

Реклама



Диэлектрический прорыв

В России запускается современное массовое производство технических диэлектриков на уровне международных стандартов

Александр Брикса, Игорь Залесский, Анна Иванова (annk2010@mail.ru)

Высокий технический уровень современных электромашин, приборов и оборудования обеспечит запуск отечественного производства технических диэлектриков G10 и G11 компании ООО «Ламплекс Композит» объёмом более 200 тыс. м² в год на уровне международных стандартов качества.

Общая тенденция развития электро-технической промышленности, связанная с повышением технического уровня, надёжности и долговечности, а также с увеличением единичной установочной мощности электрических машин, генераторов, трансформаторов, предопределяет всё более высокие требования к свойствам электроизоляционных слоистых пластиков. Это, в свою очередь, вызывает необходимость постоянного улучшения качественных показателей серийно выпускаемых технических диэлектриков, разработки и освоения новых материалов и технологий их переработки.

Электротехнические диэлектрики G10 и G11 представляют собой слоистые прессованные материалы, состоящие из слоёв армирующего наполнителя на основе сте-

кловолокна, пропитанного термореактивным связующим. Они предназначены для использования в машиностроении и приборостроении при комбинации высоких температур и высокого давления, в том числе для электрооборудования, трансформаторов и деталей специального электротехнического назначения.

Высокая прочность на изгиб при повышенных рабочих температурах в сочетании с механической прочностью и стабильностью электрических свойств при увеличенной влажности позволяет расширить диапазон применения данных материалов в современных изделиях электротехники.

Важнейшим и ключевым фактором для изготовления технических диэлектриков с заданными электрическими, температурными и механическими свойствами является применение новых типов связующих, новых технологий и оборудования для изготовления полуфабриката (препрега) и последующего прессования технического ламината.

Новые типы связующих для G10 и G11

G10 – технический ламинат; в соответствии с системой ГОСТ РФ он имеет наименование СТ, СТЭТ, СТЭФ и др.

С целью изготовления препрега для последующего формования технического ламината, т.е. для пропитки армирующего наполнителя (стеклоткани), применяются, как правило, растворные типы связующих на основе эпоксидных смол (растворы с применением ацетона, толуола, спиртов этилового и изопропилового в соответствующих пропорциях).

Эпоксидными смолами называются смолы, в состав молекул которых входят эпоксидные группы. Исходное

состояние имеет линейную структуру (см. рис. 1). Добавление к этим смолам отвердителей создаёт условия для формирования пространственного строения молекул. Обычными отвердителями являются вещества, содержащие в молекуле две аминогруппы – NH₂. Общую формулу можно изобразить как H₂N–R–NH₂.

Отверждение происходит с раскрытием эпоксидного кольца (см. рис. 2).

Применяя такие связующие для пропитки препрега и последующего формования технического ламината, можно получить материал с хорошими физико-механическими свойствами и рабочей температурой использования в различных электротехнических изделиях –65...+130°С.

G11 – слоистый технический ламинат; в системе ГОСТ РФ он имеет наименование СТЭТ-Ф и др. Рабочая температура в изделиях составляет –65...+155°С.

Для повышения нагревостойкости указанных материалов применяются эпоксидные смолы, в которые в определённой пропорции добавляется наволочная смола, имеющая в молекулах полярную гидроксильную группу OH, за счёт чего и происходит отверждение при температуре +110...+160°С.

Добавление к таким смолам (композициям) ускорителя уротропина (CH₂)₆N₄ и отвердителей превращает пропитанную стеклоткань в твёрдый материал за счёт реакции термореактивного сшивания в процессе отверждения при температуре +160...+170°С.

Для производства технических ламинатов в настоящее время широко используются модифицированные диановые эпоксидные смолы, например компания KUKDO применяет эпоксидные смолы, модифицированные димером кислоты; Hexion Specialty Chemicals выпускает модифицированные эпоксидные смолы со специальными реактивными пластификаторами под маркой Episcote, а компания NAN YA Plastics Corporation производит многофункциональную модифицированную смолу NPES 6.

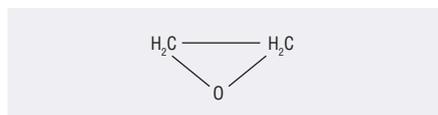
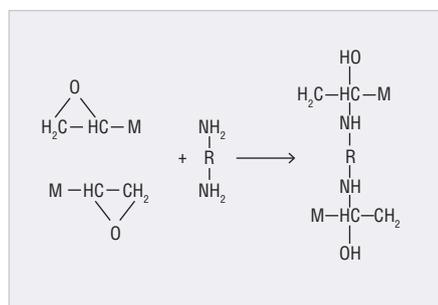


Рис. 1. Формула исходного состояния эпоксидной группы



Примечание: М – остальная часть линейной молекулы эпоксидной смолы, связанная с концевой эпоксидной группой

Рис. 2. Формула процесса отверждения с раскрытием эпоксидного кольца

В соответствии с принятыми на территории Российской Федерации обязательствами по внедрению стандартов Международной электротехнической комиссии (далее МЭК) производство технических диэлектриков должно соответствовать утверждённым МЭК стандартам качества.

Согласно международным стандартам МЭК классы нагревостойкости должны соответствовать температурным индексам (см. табл.).

В рамках реализации масштабного проекта ООО «Ламплекс Композит» по организации производства технических ламинатов G10 и G11 объёмом более 200 тыс. м² в год в IV квартале 2018 года на территории промышленного парка «Масловский» запланирован запуск новейших производственных линий, предусматривающих подготовку и применение современных модифицированных эпоксидных смол компании Bakelite. Применение указанных смол даёт возможность производить G10 и G11 класса нагревостойкости H, что позволяет широко применять эти материалы для большого спектра изделий электротехнической отрасли, диапазон рекомендуемой рабочей температуры которых установлен в пределах –65...+180°C. Кроме того, материалы, полученные на основе модифицированных эпоксидных смол, за счёт хорошей сетчатой структуры при термореактивном отверждении имеют улучшенные показатели водопоглощения, что очень важно для изделий электротехнического назначения.

Высококачественный ПРЕПРЕГ

К современным техническим диэлектрикам предъявляются большие требования, касающиеся не только нагревостойкости, но и таких показателей, как устойчивость характеристик от партии к партии материала, высокие физико-механические параметры и стабильность электрических свойств.

Для выполнения этих требований необходимо применение как новых типов связующих, так и новых современных технологий производства. Одним из ключевых технологических этапов производства технических ламинатов является этап изготовления препрега. Для создания современных препрегов, имеющих минимальное отклонение по весовому составу (на уровне ±1%), высокое качество и равномерность пропитки связующим армирующего материала, необходимо применение

современных пропиточных машин. Именно такое оборудование будет установлено на территории промышленного парка «Масловский» под управлением компании ООО «Ламплекс Композит».

Эти установки уникальны: они позволяют работать в различных режимах пропитки с множеством видов термоактивных связующих и армирующих наполнителей и обладают высокой производительностью. Данные установки имеют секционный тип конструкции, а также секцию сушильной камеры с инфракрасным нагревом.

Поскольку связующие представляют собой растворы 40–60%-й концентрации, а скорости пропитки довольно высоки, приходится за короткое время удалять значительное количество растворителя. В таких условиях стандартные типы сушильных камер оказываются малоэффективными, т.к. удаление растворителя происходит только с поверхности, а его выходу препятствует образовавшаяся плёнка связующего.

Для интенсификации процесса применяют инфракрасную сушку препрегов. При этом происходит прогрев препрега по всему объёму, причём наиболее интенсивно поглощает тепло волокнистый армирующий наполнитель, вследствие чего поток тепла идёт изнутри к наружной поверхности препрега и твёрдая плёнка на поверхности практически не образуется. Применение данного типа сушки не позволяет возникать микровзрывам на поверхности препрега, и удаление растворителя происходит без разрушения полимера.

Препрег, изготавливаемый по данной технологии, не имеет следов растворителя после полимеризации связующего, поскольку на поверхности препрега не создаётся барьер для протекания процессов испарения и растворитель удаляется полностью, не образуя микропор.

УНИКАЛЬНОЕ ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Качество слоистых пластиков определяется в том числе уровнем современного оборудования для их формования (гидравлических прессов), наличием средств автоматизации и механизации технологического процесса.

Для производства технических диэлектриков компанией ООО «Ламплекс Композит» предусмотрено использование уникального прессового оборудования, которое относится к новейшим разработкам в области технологии формования технических диэлектри-

Классы нагревостойкости изоляционных материалов

Обозначение класса нагревостойкости	Температурный индекс, °C
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

ков и имеет широкоформатные плиты пресса, обладающие специальной системой нагрева.

Преимуществами данного типа оборудования являются:

- широкоформатные плиты пресса;
- равномерность, качество и скорость нагрева;
- максимальная производительность;
- энергетическая эффективность технологического процесса;
- контроль и автоматизация процесса прессования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди ведущих экспертных организаций электротехнической отрасли давно назрел вопрос о дефиците отечественных диэлектриков, отвечающих международным стандартам качества в сочетании с конкурентоспособной ценой. Сложившаяся на сегодняшний день экономическая и политическая ситуация ставит непростую и амбициозную задачу вывода электротехнической отрасли страны на уровень мировых стандартов. Рост цен на продукцию иностранных производителей, а также широкое применение данных материалов в оборонной промышленности выводит этот вопрос на государственный уровень.

Запуск отечественного производства технических ламинатов G10 и G11 компании «Ламплекс Композит» на уровне международных стандартов качества направлен на решение острых вопросов по удовлетворению спроса на отечественные диэлектрики мирового уровня и может служить одной из предпосылок развития электротехнической отрасли России в целом.

Бизнес-планом ООО «Ламплекс Композит» предусмотрен запуск производства не только технических ламинатов G10 и G11 – проект включает в себя запуск 3 очередей современного кластера по производству полного цикла, от стекловолокна и стеклотканей до ламината. Пуск первой очереди запланирован на IV квартал 2018 года. ©

Бестрафаретная металлизация керамических подложек

Часть 2

Юрий Непочатов (nuk3d@mail.ru)

Во второй части статьи рассказывается о заключительных этапах реализации предлагаемой технологии бестрафаретной печати на керамических подложках. Речь пойдёт о лазерной резке плёнки, нанесении и переносе рисунка, а также о полученных результатах и достоинствах представленной разработки.

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛИЗИРУЮЩЕЙ ПЛЁНКИ

Формирование топологического рисунка в слое из пасты состава Mo, Mn, Si осуществлялось путём лазерной вырезки его в полосках металлизующей плёнки, нанесённой на полимерную основу длиной 50 см. Для получения рисунка согласно чертежу была использована управляющая программа CorelDRAW X6. Для формирования топологического рисунка путём лазерной резки будущий металлизационный рисунок был преобразован в рисунок резки (см. рис. 6) в программе управления станком лазерной резки.

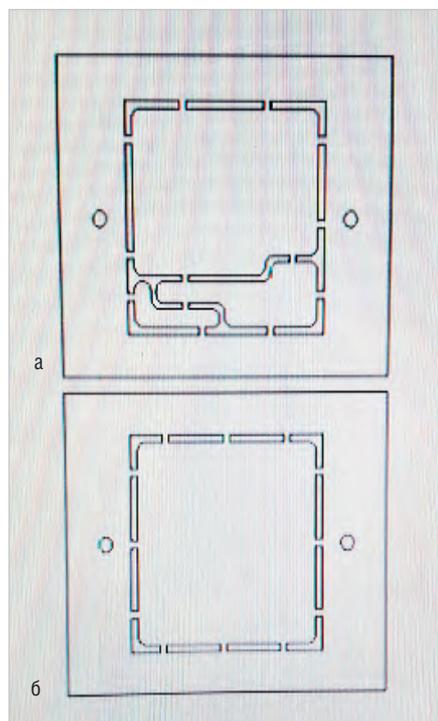


Рис. 6. Топологические рисунки вырезов в полосках металлизующей плёнки, нанесённой на полимерную основу: а) для лицевой стороны платы; б) для обратной стороны платы

Лазерная резка выполнялась на станке Laser Cutting Machine CMA1610 (см. рис. 7). На рабочий стол установки укладывалась плёнка майлара, фторопласта или полиимида с нанесённым слоем металлизующих плёнок толщиной 30–40 мкм. С помощью калибровочной пластины толщиной 5 мм выставлялся зазор между головкой лазера и плёнкой, а затем устанавливалась скорость резки 15 мм/с. Вырезанные заготовки (см. рис. 8) с топологическими рисунками укладывались в полиэтиленовый пакет, выдерживались под грузом для выравнивания и предотвращения деформирования,

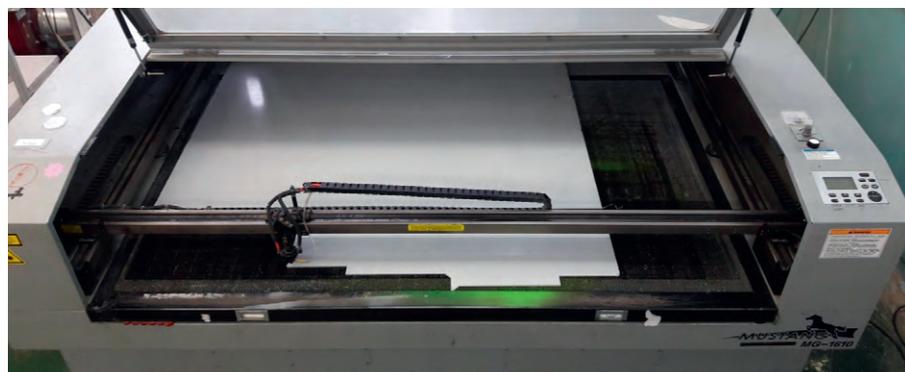


Рис. 7. Станок лазерной резки Laser Cutting Machine CMA1610

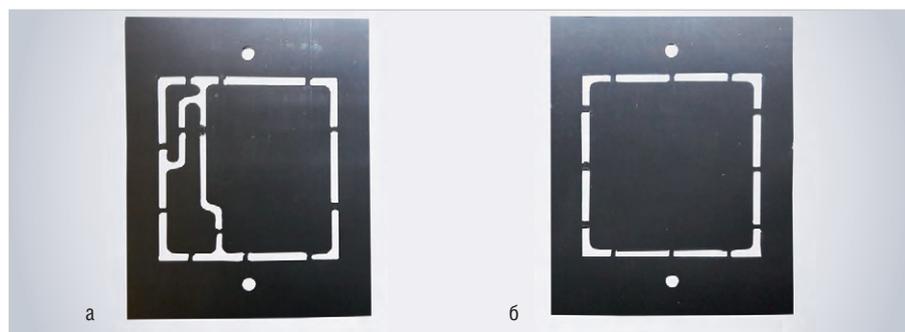


Рис. 8. Заготовки металлизующей плёнки после лазерной резки с топологическими рисунками и отверстиями, обеспечивающими совмещение рисунков с керамической подложкой: а) лицевая сторона; б) обратная сторона

после чего передавались для нанесения металлизующей плёнки на подложку. Технические характеристики лазерного станка представлены в таблице 4.

НАНЕСЕНИЕ РИСУНКА НА КЕРАМИЧЕСКИЕ ПОДЛОЖКИ ИЗ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Перед нанесением рисунка с помощью заготовок из металлизующей ленты керамическая подложка из оксида алюминия, как было описано выше, сначала шлифовалась для обеспечения адгезии металлизационного покрытия, а затем очищалась от загрязнений. Очистка проводилась в 3 цикла в деионизированной воде в УЗ-ванне при температуре +50°С. Процесс нанесения металлизационной плёнки на керамическую подложку выполнялся поэтапно. На установке теплового переноса УМП-1 (см. рис. 9) располагалась полиуретановая пластина, на которую устанавливалась оправка для теплово-

Таблица 4. Технические характеристики лазерного станка

Характеристика	Значение
Мощность лазера, Вт	80–130
Максимальная скорость, мм/с	400
Диаметр режущего луча, мм	0,2
Точность размещения, мм	0,2
Сетевое напряжение, В	220±10
Частота переменного тока, Гц	50
Габариты, мм	2670×2100×1350
Мощность, кВт	3,5

го переноса (см. рис. 10, 11). Сначала путём совмещения отверстий с выступающими штифтами оправки накладывалась заготовка из фторопластовой (майларовой или полиимидной) плёнки с металлизационным слоем, расположенным сверху. Затем устанавливался трафарет и закреплялась подложка. На подложку с помощью совмещения отверстий с выступающими штифтами оправки помещалась вторая заготовка с верхним топологическим рисунком плёнки с металлизационным слоем, расположенным снизу. Далее сверху накладывался силиконовый коврик, нагретый до температуры $+150\pm 20^\circ\text{C}$, поверх которого укладывалась вторая полиуретановая пластина. Затем осуществлялся прижим стальной плиты установки УМП-1 к верхней полиуретановой пластине с усилием 0,6 МПа и выдержкой в течение 20 с. Оправка вынималась из-под плиты установки, после чего фторопластовая (майларовая, полиимидная) плёнка удалялась с подложки. При этом на керамической подложке оставался отпечаток перенесённого топологического рисунка, который после сушки при температуре 160°C в течение 90 мин вжигался. Наилучший перенос рисунка получался с плёнки ПЭТ (лавсан, майлар), наихудший – с использованием полиимидной плёнки. Вжигание металлизационного рисунка осуществлялось в среде влажного формиргаза при температуре $+1320\pm 20^\circ\text{C}$, время нахождения деталей в зоне с максимальной температурой в печи ЦЭП-214 составляло 30 мин, в результате чего достигалось сцепление металлизационного покрытия с керамикой. После термической обработки подложек качество сцепления металлизационного покрытия, составляющего топологический рисунок, оценивалось с помощью алмазной иглы.

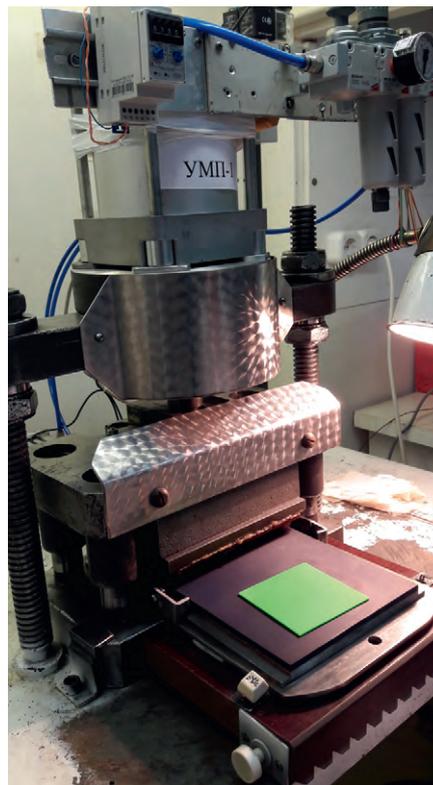


Рис. 9. Пресс УМП-1

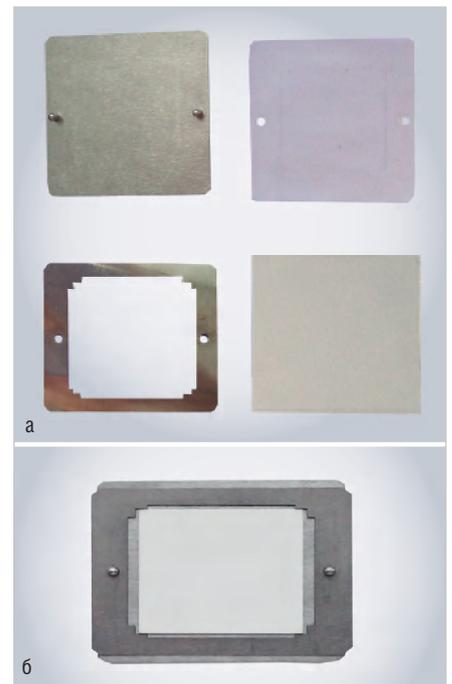


Рис. 10. Оправка для теплового переноса металлизационных рисунков на лицевую и обратную стороны подложек: а) составные части оправки; б) оправка в сборе



Рис. 11. Заготовки металлизующей плёнки с топологическими рисунками и оправка с керамической подложкой (в центре)

НАНЕСЕНИЕ МЕТАЛИЗУЮЩЕЙ ПЛЁНКИ НА КЕРАМИЧЕСКУЮ ПОДЛОЖКУ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Подложки из нитрида алюминия после шлифовки оксидировались для формирования на их поверхности слоя окиси алюминия толщиной 10–20 мкм. Перед нанесением металлизующей плёнки подложка предварительно очищалась для защиты объёма керамики от окисления во время вжигания пасты и предотвращения пузырения металлизационного покрытия. Очистка проводилась в 3 цикла в деионизированной воде в УЗ-ванне при температуре $+50^\circ\text{C}$. Оксидирование осуществлялось в водородной электропечи ЦЭП-214 при температуре $+1100^\circ\text{C}$ в среде влажного формиргаза. После этого на подложки наносилась металлизующая плёнка с топологическим рисунком. Данный процесс выполнялся аналогично опи-

санному выше процессу для подложки из оксида алюминия.

Вжигание перенесённого металлизационного рисунка осуществлялось в печи ЦЭП-214 в 2 стадии: сначала в окислительной атмосфере при температуре $+1100\pm 20^\circ\text{C}$, а затем в восстановительной атмосфере (в среде влажного формиргаза) при температуре $+1320\pm 20^\circ\text{C}$.

Режимы процессов металлизации нитрида алюминия приведены в таблице 5.

РИХТОВКА ПОДЛОЖЕК С МЕТАЛИЗАЦИОННЫМ МОЛИБДЕН-МАРГАНЦЕВО-КРЕМНИЕВЫМ ПОДСЛОЕМ

По причине малой толщины подложки (0,38 мм) и большой толщины каждого из слоёв вождённой металлизации на лицевой и обратной сторонах (20 мкм), а также из-за разницы в коэффициентах теплового расширения

Таблица 5. Этапы и режимы проведения процессов

№ этапа	Наименование этапа	Рабочая температура, °С	Газовая среда	Режим толкания	Количество толканий
1	Очистка (деионизованная вода в УЗ-ванне)			–	
2	Оксидирование	1100±20	водород, пары воды	1 лодочка/15 мин	22
3	Очистка (ацетон)			–	
4	Нанесение металлизации			–	
5	Сушка	+150...+200	воздух		–
6	Окислительное вжигание	+1100±20	водород, азот, пары воды	1 лодочка/15 мин	22
7	Восстановительное вжигание	+1320...+1340	водород, азот	1 лодочка/15 мин	22
8	Термообработка	+800...+850	водород	1 лодочка/15 мин	22

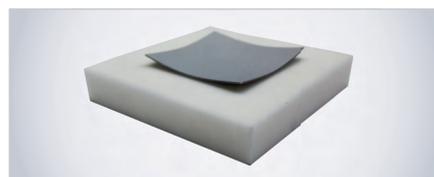


Рис. 12. Деформированная подложка на керамической плите до проведения рихтовки

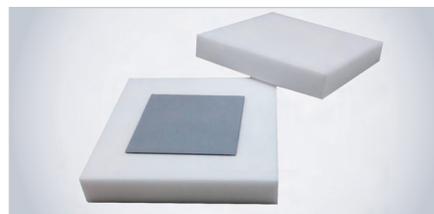


Рис. 13. Подложка на керамических плитах после проведения рихтовки

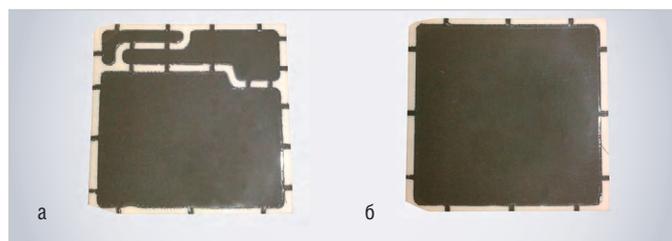


Рис. 14. Топологические рисунки подложек после теплового переноса: а) лицевая сторона; б) обратная сторона

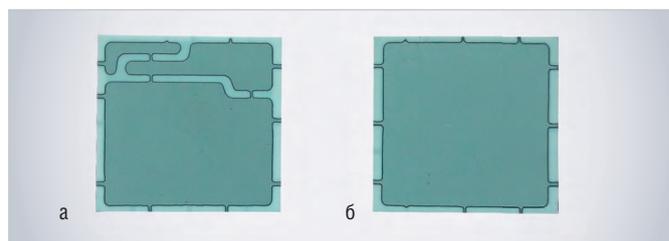


Рис. 15. Топологические рисунки подложек после вжигания: а) лицевая сторона; б) обратная сторона

керамики и металлов пасты в процессе вжигания возникают термомеханические напряжения, которые приводят к деформации подложек (см. рис. 12).

Прогиб подложек измерялся с использованием калиброванных лепестковых щупов, размещаемых в щелях, образованных при установке деформированных подложек на шлифованную плоскую плиту. Результаты измерений прогибов деформированных подложек из различных партий показали, что стрела прогиба составляет 0,02–0,5 мм. Для устранения деформации проводилась рихтовка в водородной электропечи ЦЭП-214 в режиме вжигания металлизационной пасты при температуре +1320±20°С путём размещения деформированных подложек на шлифованных керамических плитах размером 50×50×8 мм с прижимом такими же плитами весом 90 г. Проведение терморихтовки позволило полностью устранить деформацию подложек (см. рис. 13).

Внешний вид подложек с рисунками на лицевой и обратной сторонах после теплового переноса представлен на рисунке 14, а после вжигания – на рисунке 15.

Технологические переключки между элементами топологического рисунка на этапе лазерной резки выполняли

роль механического соединения элементов друг с другом и сохраняли целостность рисунка. На этапе нанесения гальванического покрытия эти переключки обеспечили гальванические контакты к элементам рисунка, что позволило значительно упростить оснастку для осаждения гальванических слоёв никеля, меди, золота и сплава олово–висмут, исключив множество контактирующих устройств. После нанесения гальванических слоёв переключки удалялись с помощью лазерной установки МЛ-1.

Опытные образцы подложек для силовых модулей с металлизационными рисунками, полученными бестрафаретным методом с последующим осаждением методом ХГН толстого слоя меди (200–300 мкм), выдержали воздействие 100 термоциклов в режиме –60 ...+150°С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку размеры электронных устройств продолжают уменьшаться за счёт повышения степени интеграции, возможности толстоплёночной технологии с использованием трафарета ограничены физическим пределом печати. Трафаретная печать может воспроизводить линии и зазоры между ними только с шириной более 100 мкм. Использование бестрафаретной печати с нанесени-

ем рисунка лазерным лучом позволяет выполнять линии и зазоры с шириной менее 100 мкм, приблизив разрешающую способность этого метода к разрешающей способности сложной и дорогой тонкоплёночной технологии, использующей фотолитографические методы получения рисунков плат.

В результате выполнения данной работы создана технология, которая позволяет получать рисунки с размерами элементов в промежуточном диапазоне между толсто- и тонкоплёночной технологиями без использования трафаретов и дорогостоящего фотолитографического оборудования. Разработанная технология является более простой и менее дорогой, чем тонкоплёночные методы получения рисунков, что позволяет исключить ряд трудоёмких операций, упростить технологический процесс, сократить себестоимость и длительность рабочего цикла изготовления платы. Бестрафаретный метод с использованием ленты для металлизации позволяет получить плотное прочное покрытие с контролируемой толщиной и быстро наладить выпуск металлизированных подложек. Вышеперечисленные достоинства данного метода делают его особенно актуальным и полезным при мелкосерийном производстве.



Свобода проектирования



САПР электроники

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

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

НОВОСТИ МИРА

**КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»
НА «ЭЛЕКТРОНИКЕ-ТРАНСПОРТ»**

17 апреля 2018 года в КВЦ «Сокольники» (Москва) в рамках деловой программы 12-й международной специализированной выставки электроники и информационных технологий для транспорта и транспортной инфраструктуры «Электроника-Транспорт 2018» прошла традиционная конференция «Электронные компоненты и модули для транспортного приборостроения и транспортных систем», основная задача которой – содействовать выпуску надёжной радиоэлектронной аппаратуры для транспортного комплекса. Конференция является традиционным местом встречи специалистов предприятий, выпускающих системы железнодорожной автоматики, телемеханики, управления, диагностики, связи и навигации, оплаты проезда и поставщиков компонентов и модулей для жёстких условий эксплуатации. Организатором мероприятия выступила редакция журнала «Современная электроника», модератором стал заместитель главного редактора Дмитрий Карлов.

На конференции выступили Андрей Смирнов, руководитель направления ЭМС и ра-



диоизмерений НПФ «Диполь», затронувший тему технических средств контроля электромагнитной совместимости оборудования транспортных средств согласно международным и национальным стандартам; Алексей Демьянов, генеральный директор компании AVD Systems, с докладом о гипервизоре SYSGO PikeOS для рельсового и дорожного транспорта; Игорь Матешев, бренд-менеджер компании Prochip, рассказавший о полосковых дисплеях для отображения информации на транспорте; Александр Чувенков, старший бренд-менеджер ООО «АЕДОН», темой выступления которого стала разработка унифицированных

преобразователей напряжения постоянного тока для железнодорожных применений, и Юлия Демидова, руководитель группы маркетинга новых силовых полупроводниковых приборов АО «Электровыпрямитель», с сообщением об IGBT-модулях для городского электрифицированного транспорта.

Доклады спикеров вызвали неподдельный интерес собравшихся, обсуждение выступлений подчас переходило в оживлённую дискуссию.

Конференция продолжит свою работу в рамках деловой программы выставки «Электроника-Транспорт» в следующем году.



SCHAEFER

Источники питания AC/DC

- Вход: однофазная и трёхфазная сеть переменного тока
- Мощность от 100 Вт до 500 кВт
- Выход: от 5 до 400 В
- Диапазон рабочих температур от -40 до +75°C

Источники питания DC/DC

- Вход: от 10 до 380 В постоянного тока
- Разнообразные конструктивные исполнения

DC/AC-инверторы

- Вход: от 20 до 800 В
- Выходы: однофазное и трёхфазное напряжение
- Частота выходного напряжения от 40 до 400 Гц с подстройкой

AC/AC-преобразователи

- Преобразование переменного напряжения в однофазное и трёхфазное с частотой от 40 до 400 Гц

Области применения

- Промышленная автоматизация
- Железнодорожный транспорт
- Испытательное оборудование

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Реклама

GS Group создал полностью российскую инновационную систему накопления электроэнергии

Холдинг GS Group выходит на рынок решений для электроэнергетики с портфелем продуктов под брендом GS Electric. Флагманский продукт нового направления бизнеса – суперконденсатор на базе собственных инновационных разработок, произведенный из российских компонентов, – и другие компетенции в области электроэнергетики холдинг представил на Петербургском международном экономическом форуме 2018.

Суперконденсаторы – системы накопления электроэнергии, которые, в отличие от электрохимических аккумуляторов, практически мгновенно заряжаются и отдают электроэнергию, кратковременно компенсируя мощности в десятки мегаватт, а также работают в более широком диапазоне температур без обслуживания и замены в течение всего срока службы – не менее 15 лет.

GS Group разрабатывает и производит суперконденсаторы под брендом GS Electric с двойным электрическим слоем в инновационном кластере «Технополис GS». Это устройство – результат многолетних научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ предприятия «Наноглеродные материалы» («НУМ») в составе «Технополиса GS». GS Group уже инвестировал в разработку технологий, лежащих в основе устройства, более 200 млн руб. По сравнению с другими суперконденсаторами, представленными на отечественном рынке, скорость отдачи энергии устройств под брендом GS Electric – 0,3 с – в 3,5 раза выше. Это достигается благодаря ноу-хау предприятия «НУМ»: в основе суперконденсаторов – уникальный наноглеродный материал в виде углеродной ткани. Инновационная разработка позволяет аккумулировать больший заряд электроэнергии по сравнению с аналогичными устройствами, в которых применяется углеродный порошок. Первые образцы суперконденсаторов GS Electric могут обеспечивать кратковременные токовые значения в диапазоне до 700 А.

Все компоненты суперконденсаторов разрабатываются и производятся в России из отечественного сырья и имеют невысокую себестоимость.

В конструкции суперконденсаторов GS Electric используются водные электролиты – экологичные, пожаро- и взрывобезопасные – в отличие от органических, которые применяются в большинстве представленных на мировом рынке устройств.

Благодаря этому суперконденсаторы безопасны для здоровья людей и окружающей среды – их можно использовать в людных местах, в том числе в учреждениях здравоохранения, пассажирском и коммерческом транспорте.

Среди потенциальных заказчиков суперконденсаторов GS Electric – производители электрического и гибридного транспорта, предприятия, использующие источники аварийного и бесперебойного питания (больницы, телекоммуникационные компании), домо-

хозяйства и социальные объекты. Устройства востребованы у производителей систем электрогенерации на базе возобновляемых источников энергии и генерирующих компаний.

По оценке Минэнерго России, объем российского рынка систем хранения энергии к 2026 году составит около 84 млрд руб. в год, из них, по данным аналитического центра GS Group, не менее 4,3 млрд руб. будут приходиться только на сегмент суперконденсаторов.

Пресс-служба GS Group



ХОРОШО ПОД СОЛНЦЕМ, ЕСЛИ ТЫ LITEMAX!

Дисплеи сверхвысокой яркости

- ЖК-дисплеи серии DURAPIXEL™ с яркостью от 800 до 2000 кд/м²
- Размеры по диагонали от 6,5” до 60”
- Разрешение от 640×480 до 1910×1080 (FHD)
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) –30...+85°C
- Возможна установка сенсорного экрана, защитного стекла
- Разнообразные конструктивные исполнения
- Ресурс до 70 000 часов

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



Реклама

Акриловые покрытия для защиты печатных плат и компонентов

Сергей Махлаков (msa@protehnology.ru)

В статье представлены 3 типа защитных акриловых покрытий от компании Electrolube, их особенности и основные характеристики. Для российских специалистов предлагаемые материалы могут быть интересны ещё и тем, что в скором времени в РФ планируется запуск их производства.

Важным этапом в производстве электроники является нанесение специальных покрытий для защиты печатных плат и соответствующих изделий от воздействия окружающей среды. Данные покрытия полностью или с большим запасом удовлетворяют требованиям промышленных стандартов. При нанесении слоя толщиной, составляющей обычно 25–75 мкм, покрытие повторяет контуры платы, обеспечивая превосходную защиту. Долговечность покрытия существенно превышает срок службы самой печатной платы.



Рис. 1. Нанесение защитных покрытий на печатные платы

Такие покрытия могут использоваться для защиты печатных плат от различных воздействий окружающей среды (влаги, солевого тумана, химических веществ, предельных температур), предотвращая, в том числе, коррозию, образование плесени и электрические отказы. Защита, обеспечиваемая покрытиями, позволяет работать с большими мощностями и уменьшать зазоры между проводниками, что даёт возможность разработчикам проектировать миниатюрные и надёжные изделия. По своему составу защитные покрытия делятся на полиуретановые, акриловые, эпоксидные, силиконовые.

В данной статье представлен обзор акриловых защитных покрытий Electrolube (Великобритания) в связи со скорым началом их производства на территории России. Компания Electrolube является одним из ведущих мировых экспертов в области производства и применения конформных покрытий, соответствующих международным требованиям, в том числе европейским и американским военным стандартам.

Акриловые покрытия Electrolube на основе материалов HPA или APL (см. рис. 1, 2) состоят из термопластичного акрилового полимера и различных растворителей. Полимеризация акриловых покрытий происходит за

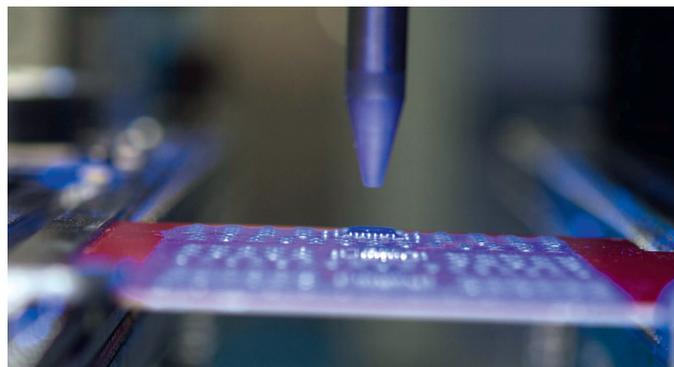


Рис. 2. УФ-контроль



счёт обычного испарения растворителей, что в итоге даёт возможность производить паяльные работы без снятия защитного покрытия, а также облегчает процесс очищения покрытия с помощью растворителя. Обычно в качестве базового материала применяются растворители с низкой температурой кипения, что позволяет покрытию быстро образовать сухой слой на поверхности и просохнуть насквозь. Акриловое покрытие можно использовать для нанесения на платы погружным методом, не опасаясь за срок его «жизни», поскольку при необходимости в него можно долить растворитель, тем самым поддержав необходимую вязкость. Акриловые покрытия обладают высоким уровнем устойчивости к влаге. Далее будут рассмотрены 3 типа акриловых покрытий, предлагаемых компанией Electrolube, и их характеристики.

Покрытие AFA (см. рис. 3) представляет собой акриловое конформное покрытие, приготовленное без использования опасных ароматических растворителей. Продукт предназначен для защиты электронных схем и отвечает требованиям многих отраслевых стандартов. AFA также одобрено UL и соответствует стандарту огнестойкости UL94 V-0.

AFA-покрытие обладает превосходной прозрачностью и устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и идеально подходит для применения со светодиодами. AFA не содержит ароматических растворителей, таких как толуол и ксилол, что снижает его операционную опасность. Быстрое время сушки при комнатной температуре позволяет эффективно наносить покрытие. AFA хорошо подходит для изделий, требую-



Рис. 3. Нанесение покрытия AFA на печатную плату

Таблица 1. Свойства акриловых покрытий Electrolube до нанесения

Характеристика	AFA	APL	HPA
Внешний вид	Бледная жидкость		
Плотность при 25°C, г/мл	0,91 (канистра); 0,78 (аэрозоль)		
Содержание ЛОС, %	67 (канистра); 85 (аэрозоль)	65 (канистра); 85 (аэрозоль)	
Точка вспышки, °C	-7 (канистра)	-7 (канистра); -4 (аэрозоль)	
Содержание твёрдых веществ, %	35 (канистра); 15 (аэрозоль)		
Вязкость при 25°C, мПа	175±25	300-350	
Время высыхания поверхности, мин	5-10	10-15	
Рекомендуемое время отверждения, ч	24 при 20°C; 0,5 при 70°C	24 при 20°C; 4 при 60°C; 2 при 90°C	
Площадь покрытия при толщине 25 мкм, м ² /л	14 (канистра); 12 (аэрозоль)	14 (канистра); 12,5 (аэрозоль)	14 (канистра); 12 (аэрозоль)

Таблица 2. Свойства акриловых покрытий Electrolube после высыхания

Характеристика	AFA	APL	HPA
Цвет	Нет		
Диапазон рабочих температур, °C	-65...+125	-55...+125	-55...+130
Воспламеняемость	UL94 V-0	Не воспламеняется (UL94-V1)	UL94-V1
Коэффициент расширения, ppm	130		
Диэлектрическая прочность, кВ/мм	45		
Диэлектрическая проницаемость	2,5		
Поверхностное сопротивление, Ом	10 ¹⁵		
Сравнительный индекс отслеживания, В	>300		
Коэффициент рассеивания (1 МГц, 25°C)	0,01		
Сопротивление влажности	соответствует MIL-1-46058C		
Тест BONO, %	2,3	-	-

ющих доработки, т.к. легко удаляется с помощью растворителя Electrolube ULS.

Быстросохнущее эластичное прозрачное акриловое покрытие APL также предназначено для защиты печатных плат и сборок. Материал APL специально разработан для широкого круга современных коммерческих применений. Среди особенностей APL можно выделить:

- превосходную прозрачность, необходимую для светодиодных изделий;
- отличную адгезию к любым поверхностям;
- широкий температурный диапазон и хорошие диэлектрические свойства;

- возможность осуществлять пайку сквозь покрытие;
- возможность проведения УФ-контроля качества нанесения;
- лёгкость удаления растворителями, такими как ULS.

HPA представляет собой высокоэффективное акриловое конформное покрытие, специально разработанное для применений в оборонной и аэрокосмической промышленности. HPA соответствует требованиям стандарта MIL-1-46058C и позволяет получить защитное покрытие, которое допускает проведение УФ-контроля качества нанесения и легко удаляется растворителями.

Основные характеристики рассматриваемых материалов до нанесения и после высыхания представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Предлагаемый ассортимент защитных покрытий позволяет обеспечить соответствие изделий любым стандартам в области влагозащиты, а также повысить гибкость производства за счёт ремонтпригодности материалов. Качество нанесения покрытия может эффективно контролироваться благодаря видимости материалов в УФ-спектре. Грядущий запуск производства материалов на территории России гарантирует стабильность поставок и отличное соотношение цены и качества. ©

ELECTROLUBE

THE SOLUTIONS PEOPLE

Совершенные Защитные Покрытия

Высокая производительность и надежность!

Идеальное решение для военных, аэрокосмических и коммерческих отраслей.

- покрытия, удаляемые растворителями, и покрытия, стойкие к воздействию растворителей
- акриловые, силиконовые, полиуретановые и гибридные материалы
- покрытия с низким содержанием летучих органических соединений (ЛОС)
- разбавители и материалы для маскирования
- материалы, соответствующие стандартам IPC, UL и MIL



www.protehnology.ru

8-800-555-26-99

info@protehnology.ru



Очистители	Защитные покрытия	Полиуретановые и эпоксидные смолы	Обеспечение тепловых режимов	Контактные смазки	Средства для ремонта и технического обслуживания
------------	-------------------	-----------------------------------	------------------------------	-------------------	--

Современные TFT-LCD-модули высокой надёжности компании Mitsubishi Electric

Юрий Петропавловский (petropavlovski@inbox.ru)

В статье рассмотрены особенности новых линеек высоконадёжных TFT-LCD-модулей компании Mitsubishi Electric, а также приведены основные параметры модулей для промышленных приложений.

С момента публикации предыдущей статьи о TFT-LCD-модулях Mitsubishi Electric [1] компания представила целый ряд новых модулей для различных отраслей промышленности. Рассмотрим особенности некоторых из них.

Весной 2016 года компания представила первый в мире 19" цветной TFT-LCD-модуль высокой чёткости с разрешением Super-XGA для использования в промышленности – AA190EA01 (см. рис. 1). Данная модель имеет яркость 1500 кд/м², срок службы составляет 100 000 ч. Предусмотрен выпуск исполнения модуля с сенсорным экраном PCAP (AA190EA01-DE1) и бюджетного коммерческого исполнения с яркостью 500 кд/м² (AA190EB02). Модули оснащены встроенными драйверами светодиодов обратной подсветки, обеспечивающими большую эффек-

тивность при эксплуатации приборов в различных условиях освещённости.

Другие параметры модулей:

- разрешение 1280×3×1024, размеры изображения 376,32×301,05 мм (формат 5:4), размеры пикселей 0,294×0,294 мм;
- вертикальное цветовое отображение RGB, число цветов – 256 тыс. или 16,7 млн;
- углы просмотра ±80° во всех плоскостях;
- толщина защитного стекла 1,8 мм с твёрдостью 5H.

В августе 2016 года компания представила новые цветные TFT-LCD-модули стандарта VGA с диагональю 6,5" (AA065VE11ADA11) и SVGA/XGA с диагональю 8,4" (AA084SC01ADA11 и др.) с проекционно-ёмкостными сенсорными панелями и защитными стёклами толщиной до 5 мм (см. рис. 2). Сенсорные панели модулей выполнены по технологии мультитач и обеспечивают точный ввод при работе в перчатках и в условиях влажности, что отвечает требованиям многих отраслей промышленности. Основные особенности модулей:

- одновременная поддержка до 10 точек касания при высокой точности сенсорного ввода команд;
- универсальное решение «всё в одном», объединяющее TFT-LCD-модули и сенсорные PCAP-панели с платой контроллера;

- возможность оптической склейки TFT-LCD-модуля, сенсорной панели и защитного стекла специальным оптическим клеем для устранения возможности внешней засветки и обеспечения более высокой чёткости изображения при ярком внешнем освещении;

- антибликовое покрытие закалённого защитного (антивандального) стекла с обработкой его поверхности для защиты от грязи расширяет возможности применения модулей в жёстких условиях эксплуатации.

Технические характеристики модулей:

- размеры изображения 132,48×99,36 (AA65VE11ADA11), 170,4×127,8 (AA084SC01ADA11/SD01ADA11/SD11ADA11), 170,496×127,872 мм (AA084XD01/XD11/XE01/XE11);
- разрешения 640×480 (AA65VE11ADA11), 800×600 (AA084SC01ADA11/SD01ADA11/SD11ADA11), 1024×768 (AA084XD01/XD11/XE01/XE11);
- размеры пикселя 0,207×0,207 (AA65VE11ADA11), 0,213×0,213 (AA084SC01ADA11/SD01ADA11/SD11ADA11), 0,1665×0,1665 мм (AA084XD01/XD11/XE01/XE11);
- контрастность 600:1 (AA65VE11ADA11), 1000:1–600:1 (AA084SC01ADA11/SD01ADA11/SD11ADA11), 800:1–1000:1 (AA084XD/XE01/XE11);
- углы обзора 80/60°, 80/80° (AA65VE11ADA11, AA084SD01ADA11/SD11ADA11, AA084XE01/11), 85/85° (AA084SC01ADA11, AA084XD01/11);
- диапазон рабочих температур –30...+70°C;
- электрические интерфейсы LVDS, USB;
- доступные опции: чёрная рамка, упрочняющая обработка, антибликовое покрытие, грязезащитное покрытие, оптическая склейка.

В январе 2017 года ассортимент TFT-LCD-модулей Mitsubishi Electric, поставляемых компанией «Симметрон», был дополнен новыми приборами с установленными PCAP сенсорными панелями с диагоналями 6,5–19" (AA065VE11-DA, AA070ME11-DA, AA084XE11-DA, AA104XF12-DE, AA121XN11/TD11-DE, AA150XT11-



Рис. 1. TFT-LCD-модуль AA190EA01



Рис. 2. TFT-LCD-модули серий: а) AA065x; б) AA084x

DE, AA190EA01-DE). Химически укрепленное защитное стекло с PCAP сенсорной панелью и чёрным принтер-рисунком новых модулей выступает за габариты LCD-матриц на 5,8 мм, что позволяет крепить модули путём утапливания в корпус изделия для создания так называемого «слим-дизайна», используемого в современных устройствах.

PCAP-панели новых приборов поддерживают различные операционные системы (Windows 7/8, Linux и др.), процессорные ядра x86 (Intel, AMD) и ARM (Atmel, TI, STM, Freescale) через интерфейсы UART и USB. Для интерфейса UART поставляется полное описание протокола, что позволяет самостоятельно написать драйвер для контроллера сенсорного экрана. Контроллеры сенсорных экранов установлены на обратных сторонах модулей.

Важной особенностью сенсорного экрана модулей является экранировка всех его основных узлов от контроллера и шлейфа, что существенно увеличивает надёжность работы сенсора, предохраняя его от ложных срабатываний. Эта особенность позволяет реализовывать современные пользо-

вательские интерфейсы в ответственных областях применения, таких как атомные электростанции, медицинское оборудование, авиация и строительная техника.

Другой важной особенностью модулей новой линейки является использование специального алгоритма обработки сигналов от активируемых сенсорных зон, что позволяет уверенно идентифицировать ввод команд при 100% влажности и в условиях работы в меховых или резиновых перчатках. Основные особенности и параметры PCAP-LCD-модулей новой линейки Mitsubishi Electric:

- химически укрепленное защитное стекло толщиной до 2,5 мм с чёрной принтер-печатью; прочность стекла сертифицирована по стандарту UL60950;
- обработка одного нажатия в ОС Windows XP, двух и более нажатий в ОС Windows 7/8, Android 2.9..4.x, Ubuntu, Linux 2.6...3.5;
- широкий диапазон рабочих температур -30...+80°C;
- высокая яркость экрана – от 800 (AA084XE11-DA, AA104XF12-DE) до

1200 кд/м² (большинство остальных типов модулей линейки);

- период выпуска модулей – более 10 лет.

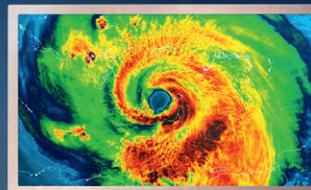
Все модули новой линейки выполнены на основе выпускаемых ранее типов приборов и содержат в названиях окончания DA и DE (DA01, DA02, DE11 и т.д.), например AA065VE11-DA2 (базовая модель – AA065VE11). Основные области применения модулей: автомобильная и строительная техника, морская навигационная аппаратура, телеметрия и системы управления для нефтегазовой отрасли, медицинская техника.

В феврале 2017 года Mitsubishi Electric объявила о выпуске вибростойких широкоэкранных WVGA TFT-LCD-модулей серии Tough с диагоналями 7" (AT070MP11) и 8" (AT080MD11). На рисунке 3 показан внешний вид модуля AT070MP11. Целевыми областями применения для них являются строительная и сельскохозяйственная техника. Оба модуля отличаются в несколько раз большей вибростойкостью (6,8g), чем обычные приборы (порядка 1g). Рабочий диапазон температур модулей расширен до -40...+85°C, а диапазон углов



Безотказные

практически в любых условиях освещённости и температуры



Индустриальные и автомобильные TFT/LCD-панели Mitsubishi Electric

- Размер диагонали 5...19 дюймов
- Яркость более 1000 кд/м²
- Широкий температурный диапазон -40...+85°C
- Вибростойкость до 6,8 G
- Ресурс работы, как минимум, 12 лет
- Сертификат RoHS/UL1950/ISO-TS16949
- Резистивный и проекционно-ёмкостный сенсор

Symmetron

МОСКВА
Тел.: +7 495 961-20-20

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Тел.: +7 812 449-40-00

НОВОСИБИРСК
Тел.: +7 383 361-34-24

МИНСК
Тел.: +375 17 336-06-06

www.symmetron.ru

Техническая поддержка: tft_mitsubishi@symmetron.ru



Реклама



Рис. 3. TFT-LCD-модуль AT070MP11



Рис. 4. TFT-LCD-модули: а) AA084VM11; б) AA104XL12



Рис. 5. TFT-LCD-модуль высокой чёткости AA190EB02-PCAP

наблюдения достигает 170° в обеих плоскостях. Основные особенности и параметры модулей:

- размеры изображения 152,4×91,44 (AT070MP11), 174×104,4 мм (AT080MD11), число точек 800×480, размеры пикселей 0,1905×0,1905 и 0,2175×0,2175 мм соответственно;
- контрастность 1000:1;
- количество цветов – 262 тыс. или 16,77 млн;
- срок службы светодиодной подсветки 100 000 ч.

В апреле 2017 года компания представила два новых модуля серии Transflective с диагоналями 8,4" (AA084VM11) и 10,4" (AA104XL12) для уличных и мобильных приложений, включая мобильные промышленные компьютеры, сельскохозяйственные транспортные средства и приборы морской навигации. Оба модуля были представлены на 20-й выставке встраиваемых систем Embedded System Expo (ESEC Spring) в Токио в мае 2017 года. На рисунке 4 показан внешний вид модулей. Технология Transflective используется для работы при ярком внешнем освещении экранов и отлично подходит для приборных досок транспортных средств. При использовании технологии Transflective не требуется очень большая яркость обратной подсветки, что способствует повышению энергоэффективности модулей и увеличивает срок непрерывной работы мобильных устройств без подзарядки батарей.



Рис. 6. TFT-LCD-модуль высокой чёткости AA101TA12

Внешние размеры, совместимость монтажных отверстий, назначение контактов соединителей позволяют легко модернизировать конечные изделия с целью улучшения их характеристик. Основные параметры модулей:

- размеры изображения 170,88×128,16 (AA084VM11), 210,42×157,82 мм (AA104XL12);
- разрешения 640×480 (AA084VM11) и 1024×768 (AA104XL12) соответственно;
- размеры пикселей 0,267×0,267 (AA084VM11) и 0,2055×0,2055 мм (AA104XL12);
- контрастность 130:1 и 120:1;
- углы обзора 35/50°, 25/50° (AA084VM11) и 50/35°, 50/25° (AA104XL12);
- количество цветов – 262 тыс. или 16,77 млн;
- диапазон рабочих температур –30...+80°С.

Летом 2017 года компания начала поставки нового 19" TFT-LCD-модуля высокой чёткости AA190EB02-PCAP с сенсорной PCAP-панелью и прочным защитным стеклом толщиной до 5 мм (см. рис. 5). Новый модуль отлично подходит для уличного применения в различных информационных системах (бензоколонки, торговые терминалы POS), измерительных системах, в промышленном оборудовании и станках. В сенсорной панели используется 10-точечный метод ввода, значительно повышающий надёжность управления

в условиях 100% влажности и при работе в перчатках. Основные особенности и характеристики модуля:

- закалённое защитное стекло со специальной обработкой для предотвращения обледенения и загрязнения;
- сенсорная PCAP-панель с возможностью оптической склейки;
- размеры изображения 376,32××301,056 мм;
- разрешение 1280×1024;
- размеры пикселей 0,294×0,294 мм;
- контрастность 800:1;
- углы обзора 80/80°, 80/80°;
- количество цветов – 262 тыс. и 167 млн;
- диапазон рабочих температур –20...+70°С.

В сентябре 2017 года Mitsubishi Electric объявила о выпуске нового широкоэкранный TFT-LCD-модуль высокой чёткости AA101TA12 (см. рис. 6). Новый дисплей предназначен для работы в особо жёстких условиях эксплуатации и обеспечивает высокую яркость изображения в сочетании с широкими углами обзора в обеих плоскостях. Высокая чёткость изображения в сочетании с большими яркостью и контрастностью позволяет применять модуль в ответственных измерительных приложениях.

Основные особенности и параметры модуля:

- широкий диапазон рабочих температур –40...+80°С;
- сверхширокие углы обзора (не менее 170° в вертикальной и горизонтальной плоскостях);
- тонкая (8,5 мм) и лёгкая (310 г) конструкция модуля позволяют применять его в мобильных устройствах;
- размеры изображения 216,96×135,6 мм;
- разрешение 1280×800;
- размеры пикселей 0,169×0,169 мм;
- контрастность 1000:1;
- углы обзора 85/85°, 85/85°;
- количество цветов – 262 тыс. или 16,77 млн.

Зимой 2018 года Mitsubishi Electric анонсировала новую линейку TFT-LCD-модулей стандартного и высокого раз-



Рис. 7. 8" и 12,1" модули Mitsubishi Electric: а) 8" WVGA; б) 12,1" XGA; в) 12,1" WXGA

Классификационные параметры новых TFT-LCD-модулей Mitsubishi Electric

Модель	Диагональ, дюймы	Тип матрицы	Разрешение	Яркость, кд/м ²	Контрастность	Интерфейс
Модули с проекционно-ёмкостным сенсором						
AA080MB01ADA11	8	TN	800×480	900	700:1	LVDS
AA080MB11ADA11	8	TN	800×480	1200	700:1	LVDS
AA121XN01DDE11	12,1	TN	1024×768	500	800:1	LVDS
AA121XN11DDE11	12,1	TN	1024×768	1000	800:1	LVDS
AA121XP01DDE11	12,1	IPS	1024×768	400	1000:1	LVDS
AA121XP13DDE11	12,1	IPS	1024×768	800	1000:1	LVDS
AA121TD01DDE11	12,1	TN	1280×800	600	700:1	LVDS
AA121TD11DDE11	12,1	TN	1280×800	1200	700:1	LVDS
AA121TH01DDE11	12,1	IPS	1280×800	400	1000:1	LVDS
AA121TH11DDE11	12,1	IPS	1280×800	800	1000:1	LVDS
AA050MG03-DA1	5	IPS	800×480	700	1000:1	CMOS
AA050MH01-DA1	5	IPS	800×480	400	1000:1	CMOS
AA065VD12-DA1	6,5	TN	640×480	1000	600:1	CMOS
AA065VE11-DA2	6,5	TN	640×480	1000	600:1	LVDS
AA065VE11ADA11	6,5	TN	640×480	1000	600:1	LVDS
AA070MC01-DA1	7	IPS	800×480	800	1000:1	LVDS
AA070MC01(11)ADA11	7	IPS	800×480	800(1040)	1000:1	LVDS
AA070ME01(11)-DA1	7	TN	800×480	800(1200)	600:1	LVDS
AA070ME01(11)-CJ1	7	TN	800×480	900(1350)	600:1	LVDS
AA070ME01(11)ADA11	7	TN	800×480	800(1200)	600:1	LVDS
AA084SC01ADA11	8,4	IPS	800×600	480	1000:1	LVDS
AA084SD11-DA2	8,4	TN	800×600	960	600:1	LVDS
AA084SD11-CA3	8,4	TN	800×600	1000	600:1	LVDS
AA084SD11ADA11	8,4	TN	800×600	960	600:1	LVDS
AA084XD01-CB1	8,4	IPS	1024×768	630	1000:1	LVDS
AA084XD01(11)ADA11	8,4	IPS	1024×768	560(800)	1000:1	LVDS
AA084XE01-CA3	8,4	TN	1024×768	450	800:1	LVDS
AA084XE01ADA11	8,4	TN	1024×768	400	800:1	LVDS
AA084XE11-DA2	8,4	TN	1024×768	800	800:1	LVDS
AA084XE11-CB1	8,4	TN	1024×768	900	800:1	LVDS
AA084XE11ADA11	8,4	TN	1024×768	800	800:1	LVDS
AA104SJ02-DE1	10,4	IPS	800×600	480	1000:1	LVDS
AA104SL02(12)-DE1	10,4	TN	800×600	560(960)	700:1	LVDS
AA104SL02-CE2	10,4	TN	800×600	630	700:1	LVDS
AA104XF02(12)-DE2	10,4	TN	1024×768	480(800)	700:1	LVDS
AA104XF02-DF2	10,4	TN	1024×768	480	700:1	LVDS
AA104XF12-CF1	10,4	TN	1024×768	900	700:1	LVDS
AA104XG02-DE1	10,4	IPS	1024×768	400	1000:1	LVDS
AA106TA01(11)DDA11	10,6	IPS	1280×768	800(1000)	1000:1	LVDS
AA106TA01-CA1	10,6	IPS	1280×768	900	1000:1	LVDS
AA121XN01-DE5	12,1	TN	1024×768	600	800:1	LVDS
AA121XN11-DE1	12,1	TN	1024×768	1000	800:1	LVDS
AA121XN11-CE4	12,1	TN	1024×768	1100	800:1	LVDS
AA121XP01-DF1	12,1	IPS	1024×768	400	1000:1	LVDS
AA121TD01(11)-DE3	12,1	TN	1280×768	640(1200)	700:1	LVDS
AA121TH01(11)-DE1	12,1	IPS	1280×768	400(800)	1000:1	LVDS
AA150XT12-DE1	15	TN	1280×768	1200	800:1	LVDS
AC150XA03-DE1	15	TN	1280×768	360	700:1	LVDS
AA190EA01-DE1	19	TN	1280×1024	1200	800:1	LVDS
Модули с расширенным диапазоном температур						
AT070MJ01	7	TN	800×480	1000	800:1	LVDS
AT070MJ11	7	TN	800×480	1500	800:1	LVDS
AT070MP01	7	IPS	800×480	1000	1000:1	LVDS
AT070MP11	7	IPS	800×480	1300	1000:1	LVDS
AT080MD01	8	IPS	800×480	1000	1000:1	LVDS
AT080MD11	8	IPS	800×480	1000	1000:1	LVDS
AA101TA02	10,1	IPS	1280×800	500	1000:1	LVDS
AA101TA12	10,1	IPS	1280×800	800	1000:1	LVDS
AA103AE01	10,3	IPS	1920×720	1000	1000:1	LVDS
AT104SN01	10,4	TN	800×600	700	700:1	LVDS
AT104SN11	10,4	TN	800×600	1500	700:1	LVDS
AT104XH01	10,4	TN	1024×768	600	700:1	LVDS
AT104XH11	10,4	TN	1024×768	1300	700:1	LVDS
AA121TG01	12,1	TN	1280×800	450	700:1	LVDS
AA123AF01	12,3	IPS	1920×720	1000	1100:1	LVDS
Модули с трансрефлективным экраном						
AA057VG12	5,7	-	640×480	500	185:1	CMOS
AA084VL01	8,4	-	640×480	300	200:1	CMOS
AA084VM01	8,4	-	640×480	400	150:1	LVDS
AA084VM11	8,4	-	640×480	750	150:1	LVDS
AA084VM01ACB11	8,4	-	640×480	360	150:1	LVDS
AA104XL02	10,4	-	1024×768	250	120:1	LVDS
AA104XL12	10,4	-	1024×768	350	120:1	LVDS

решения с диагоналями 8" (WVGA) и 12,1" (XGA, WXGA). Внешний вид приборов показан на рисунке 7. Поставки устройств начались в марте 2018 года.

Все модули новой линейки поставляются с установленными 10-точечными PCAP сенсорными панелями мультитач и закалёнными защитными стёклами

с антибликовым покрытием толщиной до 5 мм. Сенсорные панели обеспечивают надёжный ввод команд при 100% влажности и работе в перчатках. Рабочий диапазон температур модулей $-30...+70^{\circ}\text{C}$, интерфейсы управления LVDS и USB, количество цветов – 262 тыс. и 16,7 млн.

В разделе TFF-LCD-модулей категории полупроводниковых приборов каталога 2018 года компании Mitsubishi Electric приборы представлены в трёх подразделах:

1. Модули со стандартными форматами экрана – 68 типов приборов с диагоналями 5,7–19" и разрешениями VGA, QVGA, SVGA, XGA, SXGA; яркость экранов составляет 360–1500 кд/м².
2. Широкоэкранные модули – 39 типов приборов с диагоналями 5–17,5" и разрешениями WVGA, WXGA; яркость экранов составляет 320–1500 кд/м².
3. Модули со специальными форматами экрана – 4 типа приборов с диагоналями 3,5/7,8/19,2", разрешениями QHD, 1/3HD, 800×300; яркость экранов составляет 400–655 кд/м² [2].

Большинство типов TFT-LCD-модулей, выпускаемых компанией Mitsubishi Electric, представлено и в каталогах российской компании «Симметрон» [3]. В таблице приведены классификационные параметры TFT-LCD-модулей Mitsubishi Electric из каталога «Симметрона» 2018 года. Более подробные данные о выпускаемых моделях представлены на сайте компании [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Петровавловский Ю. Высоконадёжные TFT-LCD-модули Mitsubishi для ответственных промышленных приложений. Современная электроника. 2016. № 7.
2. http://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/products/tft_tech/index.html
3. <http://www.symmetron.ru/suppliers/mitsubishi/tft-modules.shtml>



Создание графических интерфейсов пользователя для STM32 с использованием STemWin

Олег Вальпа (sandh@yandex.ru)

В статье приведены краткое описание и примеры использования программного продукта STemWin для создания графических интерфейсов пользователя на основе микроконтроллеров серии STM32 компании STMicroelectronics.

ВВЕДЕНИЕ

Пользователи современной электроники быстро привыкли к многоцветным графическим интерфейсам с сенсорным управлением и уже прохладно относятся к изделиям с простыми алфавитно-цифровыми дисплеями. Однако применение цветных графических панелей в микропроцессорных устройствах требует наличия большого объема памяти, специальных интерфейсов и высокой производительности системы. Кроме того, программная поддержка графических панелей значительно

сложнее и нуждается в специализированных средах разработки.

В настоящее время выпускается множество электронной техники, оснащенной современными производительными процессорами с достаточным объемом памяти и цветными графическими панелями. Для построения подобных устройств и графических интерфейсов пользователя (ГИП) существуют специальные программные среды разработки, позволяющие минимизировать затраты времени и сил. Программы ГИП представляют собой разновидность пользовательского интерфейса, в котором такие элементы, как меню, кнопки, значки, списки и т.п., выполнены в виде графических изображений на дисплее. В отличие от интерфейса командной строки, в ГИП пользователь имеет произвольный доступ ко всем видимым на экране элементам интерфейса. С помощью различных устройств ввода, таких как клавиатура, мышь, джойстик и др., осуществляется непосредственное манипулиро-

вание элементами интерфейса и, тем самым, управление устройством.

Компания STMicroelectronics [1] для создания ГИП предлагает программную графическую библиотеку STemWin, построенную на основе библиотеки emWin от SEGGER [2].

Ниже представлены простые примеры использования данной библиотеки.

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В качестве аппаратной платформы в приведенных ниже приложениях будет использоваться готовая отладочная плата 32F429IDISCOVERY с микроконтроллером STM32F429ZIT6 и цветной графической панелью. Отладочная плата 32F429IDISCOVERY предоставляет все необходимые возможности для того, чтобы сразу приступить к разработке интерфейсных программ, как начинающим разработчикам, так и профессионалам. Внешний вид отладочной платы 32F429IDISCOVERY представлен на рисунке 1.

Плата 32F429IDISCOVERY построена на основе микроконтроллера нового поколения STM32F429ZIT6 компании STMicroelectronics. Данный микроконтроллер с ядром Cortex-M4F имеет повышенную тактовую частоту 180 МГц, увеличенный объем флэш- (2 Мбит) и оперативной памяти (256 Кбит). Кро-



Рис. 1. Отладочная плата 32F429IDISCOVERY

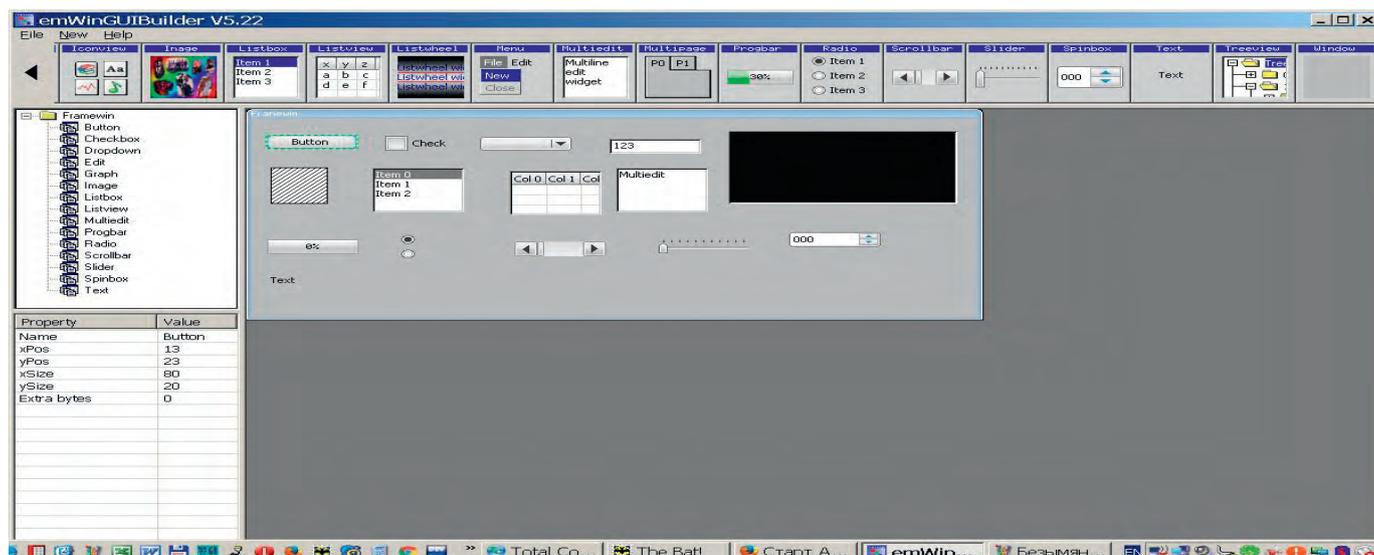


Рис. 2. Окно программы GUIBuilder

Листинг 1

```
static void _Main(void) // Главный модуль программы
{
  #if GUI_WINSUPPORT // Проверка поддержки GUI
  WM_SelectWindow(CreateWindow()); // Создать окно
  GUI_Exec(); // Выполнить программу
  #endif // Конец проверки
}
```

ме того, микроконтроллер имеет встроенный контроллер внешней памяти SDRAM для дисплея. Микроконтроллер выполнен в корпусе выводного типа LQFP144. Отладочная плата оснащена сенсорным цветным QVGA TFT LCD-дисплеем диагональю 2,4" с разрешением 240×320 точек (262 тыс. цветов) и графическим ускорителем. Кроме того, на плате установлены дополнительная SDRAM-память объёмом 64 Мбит, трёхосевой гироскоп L3GD20, разъём Micro-AB для интерфейса USB OTG, шесть светодиодов, две пользовательские кнопки и встроенный программатор-отладчик ST-LINK/V2. Все свободные выводы микроконтроллера доступны на дополнительном разъёме платы.

Подробнее с отладочной платой 32F429IDISCOVERY можно ознакомиться на сайте производителя [3].

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Библиотека STemWin позволяет создавать графические пользовательские интерфейсы для микроконтроллеров серии STM32 с LCD-дисплеями, используя возможности аппаратного ускорения микроконтроллеров STM32. Библиотека находится в открытом доступе на сайте производителя [4].

STemWin представляет собой комплексное решение, предлагающее такие функции, как работа с изображениями в форматах JPG, GIF и PNG, множество виджетов в виде флажков, кнопок и т.п., VNC-сервер, позволяющий отображать локальный экран на удалённых устройствах. STemWin содержит профессиональные средства разработки, такие как GUIBuilder, для создания приложений простым перетаскиванием элементов, преобразователь шрифтов, преобразователь картинок и дизайнер пользовательского интерфейса. Внешний вид дизайнера GUIBuilder с различными графическими элементами, размещёнными на заготовке окна, представлен на рисунке 2.

Библиотека STemWin значительно облегчает процесс разработки графического интерфейса и работы с графикой на микроконтроллерах и предоставляет следующие возможности:

- создание геометрических фигур, отображение шрифтов и картинок;

- поддержка различных видов курсоров;
- формирование прозрачных слоёв изображений;
- работа с несколькими графическими буферами;
- преобразование цветов;
- оконный менеджер.

ПРИМЕРЫ ПРОГРАММ

Для выполнения рассмотренных далее примеров необходимо загрузить библиотеку STemWin [4] и разархивировать её. После этого следует запустить программу дизайнера GUIBuilder.exe, находящуюся в распакованном каталоге \STemWin_Library_V1.2.0\Libraries\STemWinLibrary532\Software. Затем необходимо создать рабочее окно для графической панели в виде элемента Framewin, кликнув по соответствующему элементу меню в верхней области окна программы GUIBuilder. Размеры окна Framewin и прочие его свойства задаются в панели свойств Property. С помощью контекстного меню, открываемого щелчком правой кнопки мыши, можно добавить в окно элементы горизонтальной и вертикальной прокрутки, задать шрифт нужного размера и цвета и т.д.

Для того чтобы поместить в окно Framewin элемент Text, необходимо выбрать соответствующий элемент меню в верхней области окна программы и аналогично задать его свойства. Исходный текст элемента следует заменить нужным, например «Hello!».

Для генерации кода программы следует выполнить операцию сохранения либо из меню File → Save, либо нажатием комбинации клавиш Ctrl+S. При этом программа создаст файл с именем FramewinDLG.c и сохранит его в том же каталоге, в котором находится программа дизайнера GUIBuilder.

Теперь остаётся лишь добавить к полученному файлу строки программы для главного модуля, приведённые в листинге 1, и выполнить компиляцию проекта в среде разработки программ, например в Keil. Образец проекта для отладочной платы в этой среде можно загрузить с сайта Keil [5].

После загрузки полученного кода программы в отладочную плату на

экране LCD-дисплея платы появится текст «Hello!».

Следующий пример – отображение произвольной картинке на экране LCD-дисплея отладочной платы. В данном случае необходимо вместо текста разместить в окне Framewin дизайнера GUIBuilder элемент Image и задать его размеры с помощью панели свойств или мыши. Затем в контекстном меню этого элемента следует выбрать загрузку файла произвольной картинке в формате BMP, GIF, JPEG или PNG. Для того чтобы картинка полностью разместилась в поле дисплея необходимо, чтобы её размер в пикселях совпадал с разрешением дисплея. В данном случае размер составляет 240×320 точек. Изменить размеры картинке можно в любом графическом редакторе. Генерация кода программы и последующие действия ничем не отличаются от действий, описанных в предыдущем примере. Код программы будет содержать данные загруженной картинке в виде таблицы чисел. После загрузки полученного кода программы в отладочную плату изображение появится на LCD-дисплее.

Если интерфейс пользователя в программе организуется с применением только текстовых сообщений, можно обойтись без графического дизайнера GUIBuilder, воспользовавшись библиотекой GUI и функциями среды разработки. Пример такой программы приведён в листинге 2. Аргумент функции GUI_DispString(«Hello world!») можно заменить произвольным текстом.

Множество других готовых примеров с исходными кодами программ можно найти на сайте компании SEGGER [6]. С их помощью нетрудно научиться быстро создавать красивые и интуитивно понятные интерфейсы пользователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.st.com
2. www.segger.com/products/user-interface/emwin
3. www.st.com/en/evaluation-tools/32f429idiscovery.html
4. www.st.com/en/embedded-software/stemwin.html
5. www.keil.com/boards2/stmicroelectronics/stm32f429i_discovery
6. www.segger.com/emwin-samples.html



Мощные AC/DC-преобразователи для систем бесперебойного электропитания

Сергей Коротков (kor@mmp-irbis.ru),
Анатолий Лукин (lukin@mmp-irbis.ru), **Игорь Соловьёв**

Уровень развития цивилизации тесно связан с количеством потребляемой энергии, а поскольку с каждым годом её необходимо всё больше, требования к мощности источников бесперебойного питания (ИБП) неуклонно растут. В свою очередь, это приводит к необходимости постоянного повышения удельной мощности преобразователей электроэнергии, входящих в состав ИБП.

Особенности компоновки AC/DC-преобразователей для ИБП

В связи с тем что основная масса компонентов преобразователей, конструктивно занимающих большую часть печатной платы, имеет достаточно малые габариты, применение силовых элементов, в первую очередь электромагнитных компонентов большой высоты, приводит к неэффективному использованию объёма всего изделия. Чтобы пространство над малогабаритными, но занимающими значительную площадь платы компонентами не оставалось неиспользованным, необходимо, в первую очередь, максимально сократить эту площадь. Для этого все компоненты поверхностного монтажа размещают с обратной стороны печатной платы или переносят на отдельную плату, которую располагают вертикально. Даже входной фильтр и вспомогательный источник питания размещают на отдельных платах, создавая объёмную конструкцию наподобие трёхмерного тетриса, максимальным образом сокращая неиспользуемый объём. С этой же целью уменьшают общую высоту изделия, главным образом за счёт применения низкопрофильных сердечников в электромагнитных компонентах.

Уменьшение высоты преобразователей имеет свои разумные пределы, после достижения которых дальнейшее уменьшение высоты даёт обратный эффект, т.к. максимальная мощность изделия начинает резко ограничиваться из-за конечных размеров электромагнитных компонентов и электролитических конденсаторов большой ёмкости. В настоящее время оптимальной для мощных выпрямителей является высота, близкая к стан-

дартной высоте 1U для корзин 19" стоек питания. Ширина корпуса рассчитывается исходя из условия размещения в такой корзине нескольких выпрямителей.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время оптимальным по форме корпуса является достаточно длинный выпрямитель с небольшим поперечным сечением. В данной конструкции для обдува всех тепло выделяющих компонентов достаточно одного мощного вентилятора, причём при такой плотной компоновке скорость потока воздуха значительно выше, чем в свободных конструкциях, что значительно повышает эффективность обдува.

Вместе с тем ограничение высоты под стандарт 1U накладывает физические ограничения на максимальную мощность выпрямителя, поскольку оптимальная форма силовых электромагнитных компонентов мощных преобразователей не сильно отличается от формы куба и они не поддаются попыткам распределить их по плоскости. В настоящее время в корпусе шириной 85 мм (для размещения до 5 выпрямителей на одну полку в стойку 19") вполне реально разместить надёжный выпрямитель мощностью около 1,5 кВт, используя традиционную структуру корректор коэффициента мощности (ККМ) – мощный накопительный конденсатор – DC/DC-преобразователь. Мощности порядка 1,7...1,8 кВт являются для данных габаритов предельными, такими, при которых силовые компоненты работают с минимальными запасами.

При ширине корпуса 105 мм (до 4 выпрямителей на одну полку в стойку 19") номинальную мощность можно довести до 2,5...2,6 кВт, предельные значения при этом составят

2,7...2,8 кВт, причём предельные мощности будут иметь сильные ограничения по температуре окружающей среды, при которых снижение максимальной мощности начнётся едва ли не с +25...+30°C.

Для увеличения мощности выпрямителя можно в одном корпусе расположить несколько параллельно включённых преобразователей. При этом встроенному в выпрямитель микроконтроллеру необходимо осуществлять дополнительную функцию равномерного распределения выходного тока между составными частями выпрямителя. Одним из достоинств такого решения является резервирование питания в одном корпусе, т.е. выход из строя одного из преобразователей не приведёт к потере выходного напряжения, произойдёт только уменьшение максимальной выходной мощности. С другой стороны, для замены вышедшего из строя преобразователя потребуется демонтировать весь выпрямитель. На практике этот вариант был отброшен на стадии пробных образцов, участвовавших в выставках в составе стоек бесперебойного питания, но так и не нашедших своего потребителя.

Помимо внутренних факторов, ограничивающих мощность выпрямителя в указанных габаритах, не менее важным внешним фактором является выбор разъёма, соединяющего выпрямитель с корзиной. С одной стороны, входные контакты должны быть достаточно удалены друг от друга, а также от других контактов и корпуса выпрямителя, чтобы обеспечить необходимые требования по электробезопасности, с другой – выходные контакты должны быть рассчитаны на очень большой ток нагрузки. Наконец, разъём должен содержать определённое количество сигнальных контактов для связи выпрямителя с центральным процессором и внешним миром. В связи с этим подобрать разъём, удовлетворяющий перечисленным требованиям и не перекрывающий путь воздушного потока, создаваемого вентилятором, достаточно сложно. Реальный КПД, достижимый

в настоящее время при номинальном входном напряжении, не превышает величину порядка 94%, а это значит, что при выходной мощности 1,5 кВт вентилятор должен «сдувать» не менее 100 Вт потерь. По этой причине вопрос о габаритах разъёма нельзя сбрасывать со счётов.

Компоненты выпрямителя, габариты которых влияют на мощность

Для первой ступени выпрямителя – КKM – самой крупногабаритной и ответственной деталью, помимо дросселя, является накопительный электролитический конденсатор. Если в корпусе шириной 105 мм размещение нескольких конденсаторов Ø30...35×30 мм не вызывает особых трудностей, то в корпусе шириной 85 мм найти место даже для второго, дополнительного конденсатора не так просто, т.к. места рядом с вентилятором на плате уже нет. Кроме того, второй конденсатор занимает много места, ограничивая размещение других силовых компонентов, что в определённых случаях делает его применение

практически невозможным. Если же ориентироваться на один накопительный конденсатор, то при диапазоне входного напряжения выпрямителя от 85...90 В до 300...305 В и с учётом требований к допустимым пульсациям тока для выпрямителей в конструктиве 1U лучшим в настоящее время является номинал 560 мкФ на 450 В (Ø30×55...60 мм). Этот конденсатор позволяет без снижения характеристик в диапазоне входного напряжения 176...300 В обеспечить выходную мощность выпрямителя до 1,5 кВт и до 1,7...1,8 кВт при условии размещения конденсатора непосредственно в струе воздуха из вентилятора.

Очевидно, что столь жёсткие условия эксплуатации накопительно-электролитического конденсатора не способствуют увеличению его времени наработки на отказ и заявляемая отдельными производителями выпрямителей цифра 100 000 ч выглядит сомнительной. Поскольку подавляющее большинство производителей конденсаторов не публикуют формул для расчёта их долговечности в различных режимах эксплуатации,

остаётся верить, что конденсатор прослужит указанное время без отказов. Попытки увеличить срок службы за счёт применения конденсаторов диаметром 35 мм, допускающих больший ток пульсаций в конструктиве 1U, приводят к значительному сокращению полезной площади печатной платы, что для корпусов шириной 85 мм практически неприемлемо. Такое решение, в свою очередь, вынуждает уменьшать ширину силовых проводников, что при токах во входной цепи порядка 10...15 А может привести к уменьшению КПД на 1–2%.

Во второй ступени выпрямителя самой габаритной и не менее ответственной деталью является силовой трансформатор DC/DC-преобразователя. В конструктиве 1U при использовании современных сердечников типа PQ35, PQ40 можно получить выходную мощность до 1...1,5 кВт, а на сердечнике UU с обмотками из фольги с полиимидной изоляцией – до 1,5...1,8 кВт. Применение сердечника PQ40 с обмотками из фольги с полиимидной изоляцией позволяет довести выходную мощность до 2,5...2,8 кВт.

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЭЛЕКОНД





50 лет

КОНДЕНСАТОРЫ

разработка и производство



оксидно-электролитические алюминиевые

K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-74, K50-76, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95

объемно-пористые танталовые

K52-1, K52-1M, K52-1БМ, K52-1Б, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24

оксидно-полупроводниковые танталовые

K53-1А, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип)

оксидно-полупроводниковые ниобиевые

K53-4, K53-52, K53-60

ионисторы (суперконденсаторы)

K58-20, K58-21, K58-26

накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3
 Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77
 Факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53
 e-mail: elecond-market@elcudm.ru
<http://www.elecond.ru>

Реклама

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015



Рис. 1. Выпрямитель ИП3000: а) в корпусе; б) со снятой крышкой

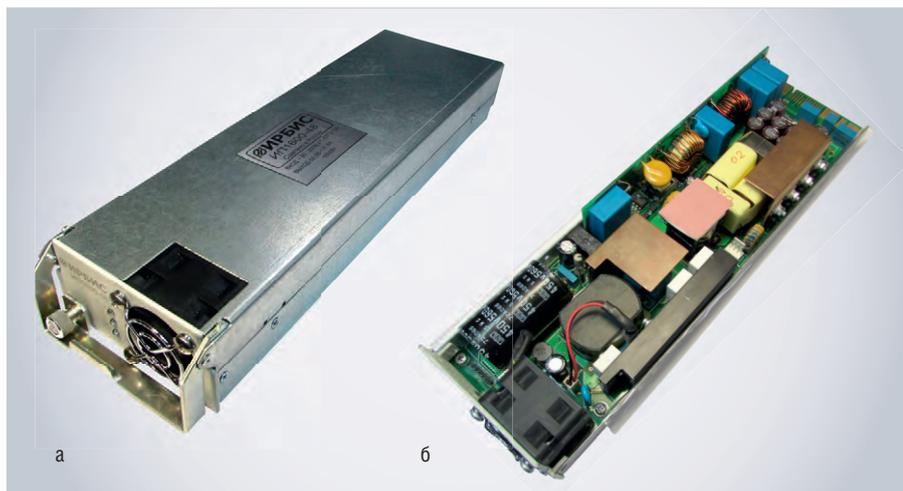


Рис. 2. Выпрямитель ИП1600: а) в корпусе; б) со снятой крышкой

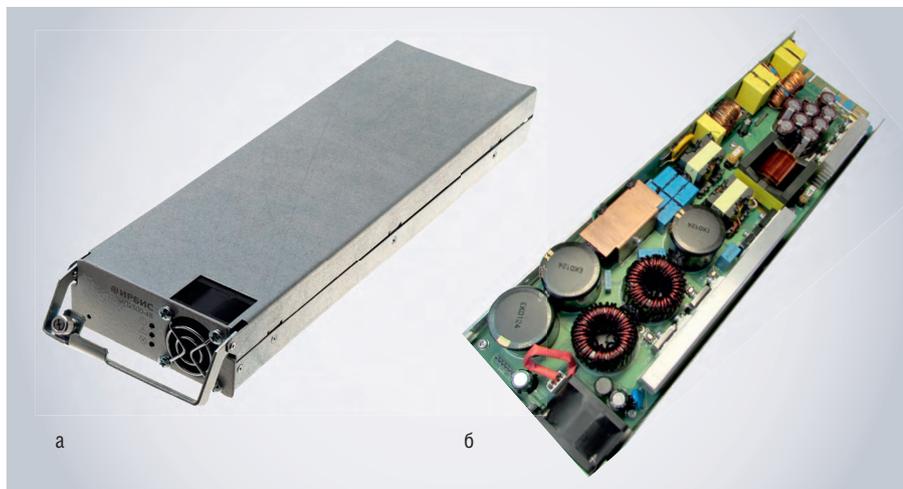


Рис. 3. Выпрямитель ИП2500: а) в корпусе; б) со снятой крышкой

Топологии DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Практически для всех DC/DC-преобразователей мощностью более 1 кВт подходят две топологии: мостовая с фазовым сдвигом и резонансная. Обе топологии позволяют распределить тепловые потери между силовым трансформатором и дросселями, чтобы сделать их достаточно миниатюрными и

уложиться, таким образом, в габариты стандарта 1U.

При мощности нагрузки 1,5 кВт и выше, когда ток нагрузки составляет несколько десятков ампер, чрезвычайно важную роль играют параметры выпрямительных диодов (или синхронных ключей) на вторичной стороне преобразователя. Каждый лишний миллиом у ключа синхронного

выпрямителя при таких токах превращается в дополнительные ватты потерь. Естественно, предпочтительнее в этом случае выглядит топология, позволяющая использовать для выпрямления диоды или транзисторы с максимально меньшим допустимым напряжением и, следовательно, с меньшим падением напряжения в проводящем состоянии. Поэтому практически во всех современных выпрямителях большой мощности, рассчитанных на работу с аккумуляторами на 48 В и более, применяется та или иная вариация LLC-резонансного преобразователя. Помимо всех достоинств обычного резонансного преобразователя, при определённом, правильно выбранном сочетании величин индуктивности намагничивания, индуктивности рассеяния и ёмкости резонансного конденсатора и при фиксированном номинальном входном напряжении (что обеспечивает ККМ) рабочая частота LLC-преобразователя практически не зависит от тока нагрузки. Это свойство LLC-преобразователей значительно уменьшает возмущения выходного напряжения при резком изменении тока нагрузки и упрощает разработку схемы обратной связи.

ВЫПРЯМИТЕЛИ КОМПАНИИ «ММП-ИРБИС»

Компания «ММП-Ирбис» около 15 лет назад начала выпуск выпрямителей серии ИП1200А мощностью 1200 Вт. Их конструкция предполагает размещение по 6 выпрямителей в корзине 6U для 19" стойки. Достаточно свободная планировка позволяет применить стандартный сердечник ETD49 для силового трансформатора и кольцевые сердечники из пермаллоя для остальных электромагнитных компонентов. Вто-

рая ступень выпрямителя выполнена по схеме мостового преобразователя с фазовым сдвигом, вторичная сторона выполнена по схеме выпрямителя с удвоением тока. Большие габариты выпрямителя позволили использовать в качестве теплоотвода металлическое основание корпуса и применить для обдува маломощный вентилятор.

Позднее была разработана и воплощена новая концепция стойки бесперебойного питания, в которой для управления выпрямителями и инверторами не требуется центральный контроллер, а все его функции выполняют сами «умные» выпрямители и инверторы. В рамках этой концепции в дополнение к инверторам, выполненным в виде одной полки высотой 1U для стойки 19", в таком же корпусе на базе ИП1200А был разработан выпрямитель серии ИП3000 (см. рис. 1).

Силовая часть выпрямителя выполнена по той же схеме, что и ИП1200А, силовой трансформатор выполнен на кольцевом сердечнике, что позволяет вписаться по высоте в указанный ранее стандарт. Каждый выпрямитель содержит по две платы с AC/

DC-преобразователями мощностью 1500 Вт, включённые параллельно на общий выход, а также плату контроллера, следящего за равномерным распределением нагрузки между двумя преобразователями и выполняющего сервисные функции вместо центрального контроллера стойки. Внутренний вид выпрямителя ИП3000 показан на рисунке 1б.

Предусмотрено три стандартных исполнения выпрямителей ИП3000 для работы с аккумуляторными батареями на 24, 48 и 60 В.

В настоящее время выпрямители серии ИП3000 морально устарели, так и не найдя своего потребителя. Их место заняли выпрямители нового поколения серий ИП1600 (см. рис. 2) и ИП2500 (см. рис. 3). Данные выпрямители позволяют обеспечить до 8...10 кВт на одну полку высотой 1U для стойки 19", что в 3 раза превосходит возможности ИП3000.

Выпрямители рассчитаны на работу при входном напряжении от 85 до 297 В с ограничением максимальной мощности при входном напряжении ниже 176 В; рабочая температура без снижения выходной мощности – от +5 до +40...45°C, со снижением мощ-

ности – до +55°C. Удельная мощность составляет 1770...1900 Вт/дм³. Коэффициент полезного действия – до 94...95%.

Переменная скорость вращения вентилятора в зависимости от перегрева компонентов увеличивает срок его службы и снижает акустические шумы.

Помимо всех обязательных для выпрямителей функций, необходимых для работы в составе стоек бесперебойного питания, выпрямители данных серий допускают автономное использование для питания аппаратуры различного назначения и обладают набором дополнительных функций, таких как дистанционное включение/выключение, регулировка выходного напряжения от внешнего источника напряжения или с помощью внешнего переменного резистора, а также рядом других. Кроме того, предусмотрена возможность через адаптер интерфейса RS-485 подключиться к персональному компьютеру и с помощью специальной программы, находящейся в открытом доступе, наблюдать состояние выпрямителя и изменять отдельные настройки, в частности настройки выходного напряжения. ©



НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Серия **GENESYS™**
5 кВт (0...600 В / 0...500 А) • LAN / USB / RS-232 / RS-485
 Масштабирование до 20 кВт

TDK-Lambda

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU

НОВОСТИ МИРА

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА E-F@STORY СОКРАЩАЕТ ИЗДЕРЖКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА 60%

31 мая 2018 года в рамках Startup Village выступил Андрей Гулаков, генеральный менеджер подразделения промышленной автоматизации Mitsubishi Electric в России. В своём докладе он представил цифровую платформу e-F@story и рассказал о качественно новых промышленных технологиях, которые компания реализует на российских предприятиях уже сегодня.

По мнению компании, именно такого уровня технологии позволят реализовать на практике стратегию социально-экономического развития Общество 5.0 не только в Японии, но и в России, и будут способствовать ускоренной цифровой трансформации российской экономики.

Ключевым элементом платформы является технология периферийных вычислений, или Edge computing, которая позволяет проанализировать и отобрать нужные данные, преобразовать их в информацию, которая необходима для принятия оптимальных управленческих

решений. Также технология позволяет значительно оптимизировать загрузку каналов связи и дата-центров. Система оперирует показателями в реальном времени и значительно увеличивает скорость принятия решения для оператора процесса. Применение платформы повышает производительность производства на 30%, а также сокращает издержки до 60%. Технология Edge computing – это фактически технология борьбы с ростом объёмов данных и связанных с этим процессом затрат. В свою очередь e-F@story – платформа для создания цифрового производства, позволяющая оптимизировать производственные процессы, преодолеть антагонизм операционных и информационных систем предприятия.

Следующим шагом в сфере цифрового производства станет усиление взаимодействия компаний-производителей, работающих на разных уровнях предприятия, – поставщиков ИТ и производственного оборудования. Большое количество различных протоколов на предприятиях препятствует слаженной работе всех его систем. Создание открытых платформ на основе объединения экспертизы и ноу-хау специализированных компаний позволит обеспечить «бесшовную» интеграцию производственных и ИТ-уровней предприятия в реальном времени, а также лёгкое моделирование данных.

Платформа e-F@story с успехом внедрена на всех предприятиях корпорации Mitsubishi Electric в Японии и активно внедряется на предприятиях России и стран СНГ. На базе платформы работают станки машиностроительных предприятий, водоканалы крупных городов, элементы платформы используются на предприятиях горнодобывающего комплекса России и Казахстана, а также контролируют работу шлюзов на Волго-Балтийском водном пути.

www.mitsubishielectric.ru

СТРУКТУРА МИНЦИФРЫ БУДЕТ ИЗМЕНЕНА В ТЕЧЕНИЕ БЛИЖАЙШИХ НЕДЕЛЬ

Структура Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций будет изменена в течение ближайших недель. Об этом на Петербургском международном экономическом форуме рассказал глава ведомства Константин Носков.

По его словам, перераспределение полномочий между Минэкономразвития и Министерством цифрового развития произойдёт примерно в те же сроки.

Министерство связи и массовых коммуникаций было преобразовано в Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций 15 мая 2018 года.

Новости Интернета вещей



Программно-аппаратные комплексы с операционной системой реального времени

GNX PROSOFT® ADVANTIX

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК
(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



Реклама

В МОСКВЕ ПРОШЁЛ ЕЖЕГОДНЫЙ ALTIUM FORUM 2018

Компания Altium Limited, ведущий мировой разработчик программного обеспечения для проектирования электроники, 22 мая 2018 года в Москве уже в пятый раз провела ежегодный форум, посвящённый инновациям в системах автоматизированного проектирования (САПР) электронных устройств на базе печатных плат. На одной площадке собрались разработчики, инженеры и пользователи САПР из российских и международных компаний.

Насыщенная программа форума состояла из секционных дискуссий и семинаров, посвящённых тематике мероприятия. Представители компании рассказали о достижениях Altium как на российском, так и на мировом рынках, особое внимание уделили стратегии развития своих программных решений. Приглашённые гости поделились положительным опытом успешно реализованных проектов, вызвавших неподдельный интерес аудитории. Затем участники посетили секции, где смогли первыми узнать о возможностях программных продуктов более детально и задать вопросы напрямую разработчикам и архитекторам продуктов Altium.

Первая секция была посвящена новой версии флагманского продукта компании Altium Designer® 18.1, в которой были улучшены базовые технологии, а также устранены ошибки, обнаруженные пользователями, и доработаны функциональные возможности, представленные в Altium Designer® 18.0.

Во втором секционном блоке было представлено новое решение Altium NEXUS®, которое создано для упрощения групповой проектной работы инженеров, конструкторов и их руководителей. Совместное проектирование позволяет распределять роли пользователей и управлять данными библиотек и проектов, а также автоматизировать общие процессы разработки. Такой подход обеспечивает прозрачное внесение изменений и сокращение количества итераций проектирования, что позволяет выводить на рынок качественные изделия в более короткие сроки. Особенностью Altium NEXUS® является то, что серверная часть, обеспечивающая взаимодействие, может находиться не только на серверном оборудовании организации, но и в облаке, что было недоступно ранее.

Участники третьей секции смогли подробнее узнать о математическом модели-



ровании электрических цепей в среде Altium Designer®, а также анализе цепей питания в PDN Analyzer®, позволяющем лучше реализовать заложенные в изделии технические решения и обеспечить целостность проектных данных.

Помимо этого, во время работы форума действовала интерактивная площадка Userzone, где каждый посетитель мог самостоятельно оценить нововведения и получить индивидуальную консультацию от технических экспертов Altium по любому из решений компании.

www.altium.com

АУО

LCD-панели AU Optronics

Высокое качество по лучшим ценам

Области применения:

- Промышленное оборудование
- Банкоматы и терминалы оплаты
- Торговые терминалы (POS)
- Мультимедиа-системы
- Промышленные компьютеры (IPC)
- Системы безопасности
- Игровые автоматы
- Медицинское оборудование
- Системы автоматизации производственных процессов
- Информационные панели (PID)



PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



PROCHIP

Проблемы тестирования на соответствие стандарту LoRaWAN

Дмитрий Титов (Keysight Technologies)

LoRaWAN является быстроразвивающейся и относительно новой беспроводной технологией, предлагаемой союзом LoRa Alliance для беспроводных сетей связи дальнего радиуса действия. Широкие возможности технологии LoRa не только делают её очень привлекательной для реализации разнообразных задач в области Интернета вещей, но и предъявляют более строгие требования к тестированию, призванному обеспечить не только соответствие LoRaWAN-устройств стандарту, но и возможность их эксплуатации в течение не менее 10 лет.

Обзор

LoRaWAN – это двунаправленный протокол со сквозным шифрованием, который работает с использованием расширения спектра методом линейной частотной модуляции (CSS) в субгигагерцовых региональных ISM- и минимально лицензируемых диапазонах частот.

LoRa Alliance – это открытая некоммерческая организация, членами которой являются более 500 компаний, в том числе IBM, Cisco, Orange, Renesas, Semtech, Arduino, Microchip, ST Microelectronics и ARM.

Столь широкая поддержка этой технологии в отрасли означает её поддержку во всём мире, поэтому уже сегодня насчитывается более 350 проектов (пробных эксплуатаций и внедрений).

Основные особенности

Технология LoRaWAN обещает большую дальность действия – от 25 до 50 км вне помещений, а также очень хорошие показатели проникновения внутри зданий, что позволяет применять её в разнообразных строениях, на подваль-

ных этажах и в гаражах. Абонентские устройства обычно работают с низкими скоростями передачи данных, а в их состав входят недорогие датчики и аккумуляторы со сроками службы более 10 лет, а в некоторых случаях и до 20 лет.

LoRaWAN представляет собой масштабируемую технологию, которая поддерживает устройства для частного и общедоступного применения с относительно небольшой инфраструктурой по сравнению с другими решениями, например технологией сотовой связи. Она включает в себя эталонное оборудование и разработки, в некоторых из которых используется программное обеспечение с открытым исходным кодом. Дополнительно она имеет функцию определения географического местоположения, не связанную с системой глобального позиционирования (GPS). Возможность определения местоположения без GPS очень важна, поскольку использование GPS может приводить к значительному расходу заряда аккумуляторной батареи. Определение местоположения с помощью LoRaWAN гораздо менее точно по сравнению с GPS; оно основано на

алгоритме различения моментов поступления сигнала, позволяющем определять местоположение с точностью до ближайшего городского квартала.

LoRaWAN обладает двумя отличительными свойствами, позволяющими повысить продолжительность работы аккумуляторных батарей в отдалённых узлах сети, что зачастую является ключевым преимуществом этой технологии. Во-первых, применяемая в LoRaWAN модуляция CSS позволяет работать с уровнями на 25 дБ ниже уровней мощности сигналов помех, при этом шлюзы по-прежнему принимают полезный сигнал. Во-вторых, в LoRaWAN используется адаптивный алгоритм скорости передачи данных, который для оптимизации времени излучения настраивает скорость передачи данных конечного узла в зависимости от его удалённости от шлюза.

Цели испытаний

Поскольку большинство предлагаемых LoRaWAN преимуществ связаны с применяемой технологией радиосвязи высокой сложности и продолжительным временем автономной работы её устройств, тщательные испытания этих устройств на этапах исследований и разработки, проверки и производства чрезвычайно важны.

Недорогие конечные устройства делают технологию LoRaWAN популярной в тех областях, где используется большое количество датчиков. Стоимость установки датчиков может значительно превышать стоимость самих датчиков, и заказчики могут требовать продолжительных гарантийных сроков, обеспечивающих их успешное применение в течение длительного времени. Ошибки микропрограммного обеспечения или дефект аппаратной части конечного устройства, приводящие к чрезмерному расходованию заряда аккумулятора, способны погубить экономическую эффективность проекта. Таким образом, крайне важно обеспечить соответствие разрабатываемого LoRaWAN-устройства требованиям стандарта по следующим параметрам:

- соответствие требованиям нормативных документов, регулирующих



Рис. 1. Анализатор сигналов N9020B серии MXA компании Keysight

использование радиочастотного спектра;

- характеристики передачи ВЧ-сигнала;
- характеристики приёма ВЧ-сигнала;
- продолжительное время работы от аккумуляторных батарей.

СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Каждое радиоустройство должно соответствовать различным нормативным требованиям. Например, в США использование в протоколе LoRaWAN технологии CSS означает, что оно должно соответствовать требованиям Федеральной комиссии по связи FCC, часть 15.247, которые применяются к осуществляемым в нелицензируемых радиоустройствах передачам с дискретной перестройкой несущей частоты и расширением спектра.

LoRaWAN-устройства необходимо тестировать в режимах цифровой модуляции и расширения спектра, а также в смешанном режиме, при котором используются аспекты как цифровой модуляции, так и расширения спектра. Компания Semtech, поставщик аппаратных средств стандарта LoRaWAN, предлагает разнообразные рекомендации по применению, призванные помочь разработчикам и изготовителям обеспечить соответствие устройств нормативным требованиям FCC.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАЧИ ВЧ-СИГНАЛА

Качество выполняемой устройством передачи важно для обеспечения длительного времени работы аккумуляторной батареи. Если пакет данных не принят, его необходимо отправлять повторно, а это влечёт за собой расход заряда аккумуляторов передающего и принимающего устройств. Всё, что необходимо, – это относительно несложная установка, в которой используется программное обеспечение для отправки последовательностей специальных тестовых сигналов на тестируемое устройство и анализатор сигналов для измерения параметров сигнала, передаваемого тестируемым устройством.

В качестве анализатора сигналов можно использовать анализатор сигналов серии X, например N9020B MXA компании Keysight (см. рис. 1), или анализатор сигналов в формате PXI. Кроме того, можно расширить возможности анализатора сигналов за счёт про-



Рис. 2. Векторный генератор сигналов N5182B серии MXG компании Keysight

граммного обеспечения, позволяющего выполнять измерения качества модуляции.

Список некоторых ключевых параметров, проверяемых в ходе тестирования LoRaWAN-устройств согласно FCC, часть 15.247:

- выходная мощность ≤ 30 дБм;
- полоса пропускания по уровню 6 дБ > 500 кГц в режиме цифровой модуляции;
- спектральная плотность мощности ≤ 8 дБм в любой полосе частот шириной 3 кГц;
- полоса пропускания по уровню 20 дБ ≤ 500 кГц для канала с дискретной перестройкой несущей частоты;
- мощность паразитных излучений на несущей частоте ≤ -43 дБм от 10 МГц до десятой гармоники несущей частоты передатчика;
- тесты характеристик передатчика в режиме частотной манипуляции, основанные на измерении отклонений девиации частоты и частоты несущей.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЁМА ВЧ-СИГНАЛА

Поскольку в LoRaWAN используются сигналы небольшой мощности, важно проверять верность настройки чувствительности приёмника и правильность выполнения приёмным устройством демодуляции сигнала и фильтрации всех помех, в том числе внутриканальных и межканальных. Такие тесты можно проводить с помощью программного обеспечения Signal Studio компании Keysight, которое позволяет управлять генератором сигналов и формировать сигналы стандарта LoRaWAN.

В качестве генератора для таких испытаний можно использовать векторный генератор сигналов N5182B серии MXG компании Keysight (см. рис. 2) или модульный генератор сигналов в формате PXI. В любом из этих случаев сигнал ослабляют с помощью аттенюатора до очень низкого уровня мощности и передают на LoRaWAN-устройство, которое принимает этот сигнал. Тестируемое устрой-

ство стандарта LoRaWAN обычно запускается вместе с испытательным программным обеспечением компании Semtech, которое работает с сигналом повторяющейся произвольной формы от генератора в качестве испытательного сигнала и подсчитывает число пакетов, принятых правильно, и число пакетов с ошибкой.

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗРЯДА БАТАРЕИ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Поскольку продолжительная работа аккумуляторной батареи является ключевым аспектом многих областей применения технологии LoRaWAN, важно располагать правильными и точными результатами измерений текущего потребления. Более того, важно знать потребление заряда для каждой операции LoRaWAN-устройства и учитывать это при разработке микропрограммного обеспечения.

При переходе из состояний с низким потреблением мощности («спящий» режим, бездействие, приостановленные процессы и т.д.) в режимы работы (приём, передача или технологический) значение потребляемого конечным LoRaWAN-устройством тока будет, вероятно, изменяться на несколько порядков. Таким образом, важно иметь возможность выполнять измерения в широком динамическом диапазоне без неоднородностей, связанных с переключением диапазонов. Например, если наибольший рабочий ток устройства или его компонента в 250 000 раз больше тока в режиме с наименьшим потреблением, для охвата такого диапазона АЦП необходимо разрешение 18 бит. Если требуется точность 1%, необходимы ещё 7 дополнительных бит, всего в сумме 25 бит.

Большинство приборов не способно обеспечить такое требование в едином диапазоне измерений, поэтому лучше остановить свой выбор на приборе с автоматическим выбором диапазона измерений. Это анализатор питания постоянного тока N6705C



Рис. 3. Анализатор питания постоянного тока N6705C компании Keysight



Рис. 4. Кумулятивная интегральная функция распределения (CCDF)

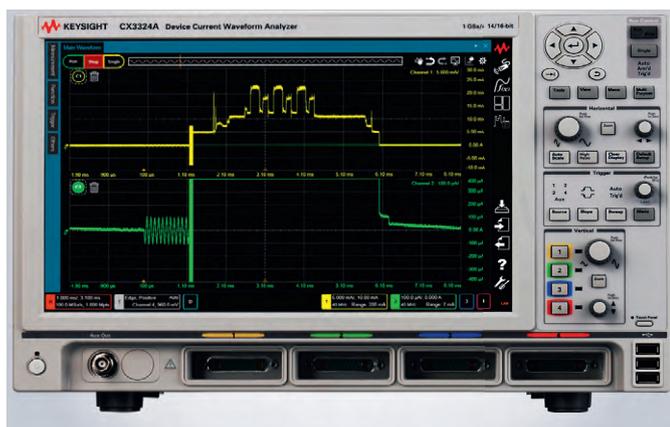


Рис. 5. Анализатор формы сигнала тока Keysight CX3324A

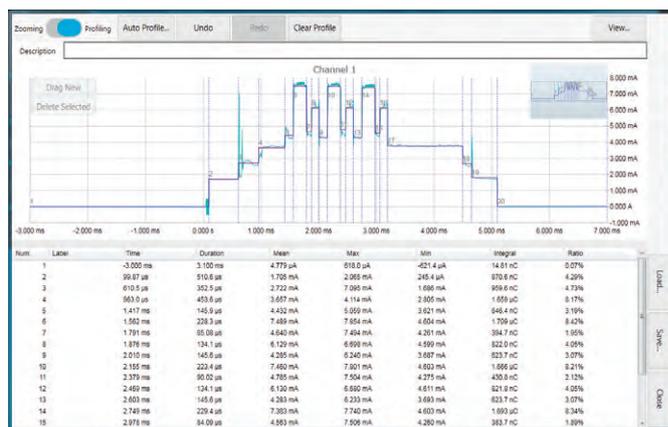


Рис. 6. Пример работы автоматического профилировщика потребления тока

(см. рис. 3) с модулем источника/измерителя N6781A или N6785A компании Keysight.

Автоматический выбор диапазона измерений в анализаторе N6705C обеспечивает эквивалент 28-битного динамического диапазона без неоднородностей, связанных с переключением диапазонов.

Для технологии LoRaWAN крайне важны испытания чувствительности приёмника при различных коэффициентах расширения спектра. Также необходимо убедиться в том, что в присутствии сигнала помехи уровень чувствительности приёмника не придётся поднимать больше, чем на 3 дБ.

Анализатор питания N6705C можно использовать вместе с программным обеспечением управления и анализа Keysight 14585A для анализа кумулятивной функции распределения (CCDF, показана на рисунке 4). CCDF используется для анализа потребления тока в LoRaWAN-устройствах. Её график в осях X и Y наглядно отображает, насколько часто LoRaWAN-устройство работает при различных уровнях потребляемого тока.

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗРЯДА БАТАРЕИ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА ФОРМЫ ТОКОВЫХ СИГНАЛОВ, ПОТРЕБЛЯЕМЫХ УСТРОЙСТВОМ

Анализатор формы токовых сигналов устройств серии CX3300 компании Keysight (см. рис. 5) представляет собой ещё одно полезное средство измерений разряда батареи в LoRaWAN-устройствах. С его помощью можно измерять ток вплоть до 100 пА с полосами пропускания до 140 МГц. Благодаря широкой полосе пропускания этот анализатор формы токовых сигналов идеально подходит для измерений кратковременных импульсов.

В дополнение к возможности отображения CCDF в анализаторе формы токовых сигналов предусмотрена возможность автоматической регистрации профиля тока (см. рис. 6). Этот прибор автоматически разделяет форму токовых сигналов на сегменты в зависимости от уровней тока и для каждого сегмента вычисляет разнообразные статистические характеристики. Кроме того, можно добавлять, удалять и перемещать отметки сегментов для выполнения специальных измерений и полу-

чения статистических характеристик, которые значительно выходят за рамки автоматических измерений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

LoRaWAN – технология современных энергоэффективных глобальных сетей (LPWAN), которая работает на низких скоростях передачи данных в целях обеспечения высокой помехоустойчивости, обширного покрытия и продолжительной работы аккумуляторных батарей. Для обеспечения экономической эффективности применения технологии LoRaWAN необходимо выполнять тщательное тестирование LoRaWAN-устройств, чтобы убедиться в том, что их характеристики приёма и передачи соответствуют требованиям FCC, часть 15.247 (для США), а срок службы батарей отвечает ожиданиям заказчика и составляет не менее 10 лет.

Более подробную информацию смотрите в рекомендациях по применению, посвящённых тестированию на соответствие требованиям стандарта FCC, часть 15.247, по ссылке: www.semtech.com/images/datasheet/an1200.26.pdf.



ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

ПРЕДЛАГАЕТ ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ



**ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ
И УСТОЙЧИВОСТЬ
К ВОЗДЕЙСТВИЮ
МЕХАНИЧЕСКИХ УДАРОВ
ОДИНОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ**

АО «ТЕСТПРИБОР» предоставляет услуги в области проведения сертификационных испытаний электронной компонентной базы иностранного производства, а так же периодических испытаний электронной компонентной базы отечественного производства по ГОСТ 20.57.416 и ГОСТ 20.57.305.



ТЕСТПРИБОР

**ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ
СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ
ПЫЛИ (ПЕСКА)**

Испытания проводят для проверки работоспособности аппаратуры и способности противостоять разрушающему и проникающему воздействию пыли и песка.

Температурный диапазон:
от +25°C до +65°C

Скорость циркуляции: от 0,5 до 15 м/с

Испытания в соответствии
с ГОСТ 20.57.416 и ГОСТ 20.57.305



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

Осциллографы и пробники для измерения параметров полупроводниковых приборов на основе карбида кремния

Маркус Хердин (Rohde & Schwarz)

Ключевым фактором в развитии электротранспорта является эффективность хранения и преобразования энергии. За счёт сверхкороткого времени переключения и высокого напряжения пробоя силовые полупроводниковые приборы на основе карбида кремния (SiC) идеально подходят для применения в данной области. Контрольно-измерительное оборудование, используемое для измерения параметров SiC-полупроводников, должно обладать широкой полосой пропускания, эффективными функциями анализа и иметь возможность проведения измерений без заземления.

Высокопроизводительное и эффективное преобразование энергии в электромобилях может быть достигнуто только при высоком напряжении аккумуляторной батареи и использовании самых современных силовых полупроводниковых приборов. В документе «Классы напряжений для электромобилей», опубликованном в 2013 году Ассоциацией немецких производителей электрического и электронного оборудования (ZVEI), указано значение 400 В для легковых автомобилей и до 800 В для спортивных автомобилей. Сегодня автопроизводители обсуждают напряжение аккумуляторной батареи до 1000 В.

Необходимость широкой полосы пропускания и дифференциальных измерений

Полупроводники на основе карбида кремния имеют значительные пре-

имущества для применения в этой области: исключительно высокое напряжение пробоя, очень короткое время переключения и, следовательно, низкие потери при переключении. Для анализа и оптимизации циклов переключения требуются широкие полосы измерения вплоть до 200 МГц.

Чтобы оптимизировать операции переключения, необходимо измерять напряжения затвор – исток и сток – исток силовых транзисторов – как на транзисторе нижнего плеча, так и на транзисторе верхнего плеча. Для этой задачи компания Rohde & Schwarz предлагает высоковольтные дифференциальные пробники семейства R&S RT-ZHD (см. рис. 1). Эти пробники позволяют проводить измерения без заземления по нескольким измерительным каналам и обеспечивают высокий коэффициент подавления синфазного сигнала.

К другим преимуществам этого семейства пробников относится высокое напряжение смещения постоянного тока до 2000 В, которое может быть настроено независимо от коэффициента ослабления пробника и вертикального масштаба на осциллографе. Эта возможность позволяет обнаруживать и измерять даже очень небольшие пульсации высокого постоянного напряжения аккумуляторной батареи. В пробники также встроен высокоточный вольтметр постоянного тока, который позволяет проводить измерения с погрешностью 0,1%, что выше базовой погрешности пробников, составляющей 0,5%. Высоковольтные пробники идеальным образом подходят для измерений с помощью новых осциллографов R&S RTM3000 и R&S RTA4000, а также осциллографов R&S RTE1000 и R&S RTO2000 от компании Rohde & Schwarz.

Анализ однократных событий

В области силовой электроники часто возникает необходимость анализа однократных событий. Это можно сделать только при наличии большого объёма памяти и эффективных функций анализа. Осциллографы R&S RTE и R&S RTO имеют специальную функцию отслеживания (построения трека), которая отображает измеренные значения автоматических измерительных функций в течение всего времени сбора данных. Эта функция особенно полезна для измерений длительности импульсов и частоты, например с целью анализа и детального отображения переходной характеристики преобразователя напряжения.

На рисунке 2 отображена характеристика включения резонансного преобразователя. Сверху показаны выходное напряжение (зелёная кривая) и ток (оранжевая кривая). Фиолетовая кривая в середине отслеживает частоту переключения резонансного преобразователя. Нижние диаграммы (жёлтые кривые) показывают напряжение на выходном коммутирующем каска-



Рис. 1. Высоковольтные дифференциальные пробники R&S RT-ZHD



Рис. 2. Характеристика включения резонансного преобразователя



Рис. 3. Локализация источников нежелательных выбросов ЭМП с помощью пробников ближнего поля



Рис. 4. Портативный лабораторный осциллограф с изолированными входами R&S Scope Rider

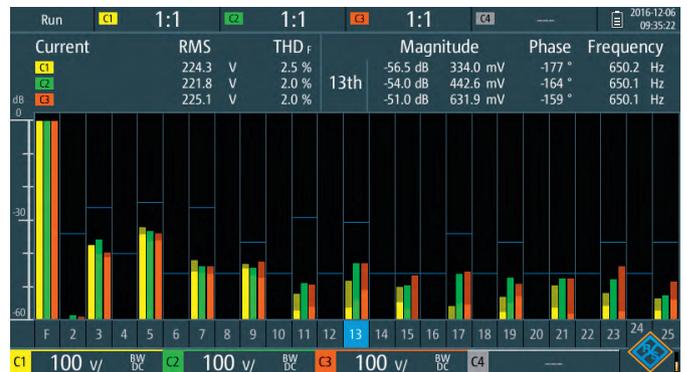


Рис. 5. Функция измерения гармоник осциллографа R&S RTH Scope Rider

де и его увеличенное изображение во временной области, демонстрирующее процесс установления контура управления, ещё не перешедшего в непрерывный режим работы.

Анализ проблем электромагнитной совместимости

Соответствие требованиям по ЭМС является важной проблемой при использовании силовых полупроводниковых приборов с большой скоростью переключения. Плохая разводка цепей или неправильное заземление радиаторов может вызвать значительный выброс электромагнитных помех (ЭМП) [1].

В процессе отладки крайне важно локализовать в схеме точное место возникновения недопустимо высоких выбросов ЭМП. Для этой цели идеально подходят пробники ближнего поля, такие как R&S HZ-15.

Современные осциллографы обладают достаточной чувствительностью и малым уровнем шума для проведения измерений с помощью пробников ближнего поля (см. рис. 3). Осциллографы R&S RTE1000 и R&S RTO2000 также позволяют осуществлять корреляцию выбросов ЭМП во времени и быстрее выявлять их первопричины.

Мобильные измерения с помощью гальванически изолированного портативного осциллографа

При проведении мобильных измерений часто невозможно использовать лабораторный осциллограф, поскольку доступ к источнику питания 220 В отсутствует. Для таких задач идеально подходят портативные осциллографы с изолированными входными каналами: они позволяют выполнять измерения плавающего потенциала без дорогостоящих дифференциальных пробников.

Портативный осциллограф R&S RTH Scope Rider (см. рис. 4) позволяет измерять напряжения с максимальной разностью потенциалов 1000 В (СКЗ) в категории CAT III или 600 В (СКЗ) в категории CAT IV. Обладая полосой пропускания до 500 МГц, прибор может измерять даже очень быстрые операции переключения. В набор его функций анализа входят регистрация данных, анализ спектра, анализ гармоник и 8-битный логический интерфейс (см. рис. 5). Портативный осциллограф способен декодировать цифровые последовательные протоколы, такие как I²C/SPI, UART, CAN/LIN, CAN-FD и SENT, что делает его идеальным инструментом для комплексной отладки во время обслуживания. Также R&S Scope Rider может быть использо-

ван как эффективный и экономически выгодный лабораторный прибор.

Заключение

Разработка мощных и эффективных систем привода для электромобилей ставит новые задачи для контрольно-измерительного оборудования. Использование новых силовых полупроводниковых приборов на основе карбида кремния требует проведения широкополосных измерений в высоковольтных системах. Короткие фронты сигналов коммутации также создают проблемы с соблюдением стандартов ЭМС. Кроме того, требуются эффективные функции для анализа управляющих характеристик импульсных преобразователей. Компания Rohde & Schwarz предлагает широкий ассортимент оборудования для решения этих задач: высоковольтные дифференциальные пробники с полосой пропускания до 200 МГц, лабораторные осциллографы с большой глубиной памяти и эффективными функциями анализа, а также портативные осциллографы с изолированными входами для измерений в полевых условиях.

Литература

1. Deutschmann B., Winkler G., Auinger B. Störemission von Leistungselektronik. 15th EMV-Fachtagung, TU Graz, 2017. ©

Применение функций обработки строк языка программирования C для управления буквенно-цифровыми дисплеями

Татьяна Колесникова (beluikluk@gmail.com)

В статье рассматривается практическое применение микроконтроллера ATmega16 и строковых функций языка программирования C для управления микросхемами буквенно-цифровых дисплеев из библиотеки компонентов программы Proteus.

ВВЕДЕНИЕ

Микроконтроллерная техника является одной из наиболее динамично развивающихся областей современной вычислительной техники. Основой любого микроконтроллерного устройства является заложенная в него программа инициализации, которая задаёт алгоритм функционирования устройства и последовательность выполнения операций. Для написания такой программы используют язык программирования, выбор которого следует выполнять под конкретную задачу.

Система, в которой используется микроконтроллер, может не только чем-то управлять, но и что-то отображать. Одними из основных средств вывода информации для современных цифровых систем являются матричные жидкокристаллические дисплеи (ЖКД), которые бывают следующих видов:

- по типу управляющего интерфейса:
 - с контроллерами – обычно применяются в системах, обладающих не очень большими вычислительными ресурсами; наличие контроллера полностью освобождает разработчика от операции регенерации изображения – ему необ-

ходимо только переслать информацию в оперативное запоминающее устройство дисплея – для этого используется 8-разрядный параллельный интерфейс;

- без контроллеров;
- по типу отображаемой информации:
 - буквенно-цифровые – предназначены для отображения информации в виде букв, цифр, различных знаков; единичные элементы отображения таких индикаторов сгруппированы по строкам и столбцам;
 - графические – отображают информацию, основываясь на матрице точек, равномерно распределённой по всему дисплею.

При производстве буквенно-цифровых жидкокристаллических модулей большинство фирм-производителей применяют контроллер HD44780 [1], который принимает и обрабатывает команды управления и выводит соответствующие символы на дисплей.

Для практического применения дисплея требуется его взаимодействие с внешним источником данных, генератором кодовых комбинаций символов, схемой управления, в качестве которых можно применить микроконтроллер.

Каких-либо стандартных правил сопряжения микроконтроллеров с дисплеями не существует, и в каждом конкретном случае сопряжение может выполняться по-разному. Вывод информации на дисплей осуществляют с помощью управляющей программы.

При написании программы для микроконтроллера, который управляет устройством вывода информации, целесообразно использовать язык C, синтаксис которого содержит много функций работы со строками, а также предусматривает возможность их вывода (в данном случае на дисплей).

В языке C программа разбивается на отдельные завершённые логические блоки – процедуры и функции, которые могут объединяться в библиотеки. Применение функций уменьшает код программы, сокращает время её написания, ускоряет внесение изменений. Функцию в любом месте программы можно вызвать на выполнение.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ПРОТЕУС ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ

Для проектирования устройства вывода информации и моделирования его работы воспользуемся программной средой Proteus [2], библиотека компонентов которой содержит как аналоговые, так и цифровые компоненты, а также микроконтроллеры с возможностью их программирования. В Proteus реализовано большое

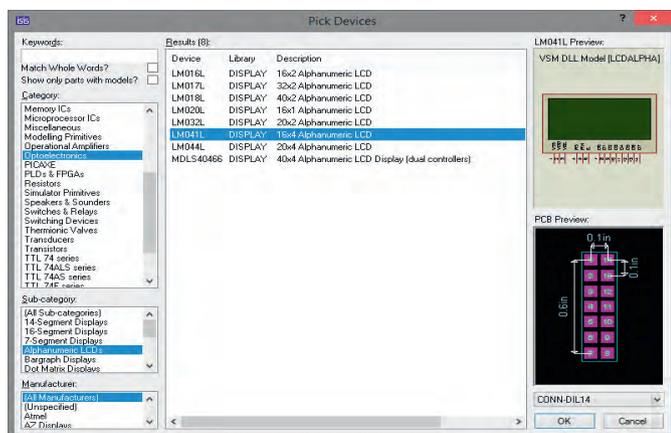


Рис. 1. Раздел Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics

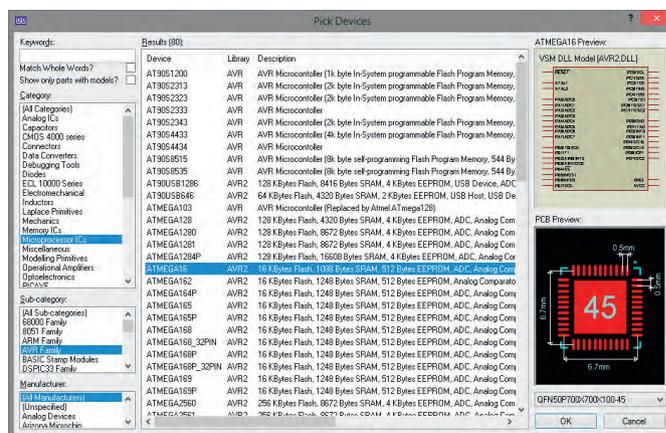


Рис. 2. Раздел AVR Family библиотеки Microprocessor ICs

количество функций для профессионального проектирования микроэлектронных устройств, ориентированных на самые современные средства моделирования. Программа Proteus позволяет автоматизировать все стадии разработки электронных устройств, включая подготовку принципиальных схем, моделирование процессов, происходящих в электронных цепях, компоновку и трассировку печатных плат, редактирование и расширение библиотек компонентов.

В Proteus буквенно-цифровые дисплеи находятся в разделе Alphanumeric LCDs библиотеки Optoelectronics (см. рис. 1) и представлены следующими моделями: LM016L (16×2), LM017L (32×2), LM018L (40×2), LM020L (16×1), LM032L (20×2), LM041L (16×4), LM044L (20×4), MDLS40466 (40×4). В скобках указано разрешение дисплея, например 32×2 – 32 символа × 2 строки. Все микросхемы имеют одинаковую распиновку и отличаются числом строк и числом символов в каждой строке. Для тестирования работы микросхем буквенно-цифровых дисплеев будем использовать микроконтроллер ATmega16. Данная микросхема находится в разделе AVR Family библиотеки Microprocessor ICs (см. рис. 2). Для отладки программного кода выберем компилятор WinAVR.

Буквенно-цифровые дисплеи могут работать в 2 режимах:

- 8-разрядном (для обмена информацией используются выходы D0...D7, при этом информация пересылается за один такт);
- 4-разрядном (для обмена информацией используются выходы D4...D7, при этом информация пересылается за 2 такта – сначала старшие 4 бита, затем младшие 4 бита).

Для подключения микросхемы буквенно-цифрового дисплея к схеме управления используются параллельная синхронная шина данных/команд (D0...D7), вывод выбора операции чтения/записи (RW), вывод выбора регистра данных/команд (RS) и вывод синхронизации (E).

Передача информации между микроконтроллером и микросхемой буквенно-цифрового дисплея в описываемом примере выполняется в 8-разрядном режиме. Отметим, что линии портов микроконтроллера для подключения к указанным выводам дисплея выбираются разработчиком произвольно. Подача управляющих сигналов через подключённые к портам микрокон-

Система команд контроллера HD44780

Команда	Код									
	RS	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
Очистить дисплей и установить курсор в нулевую позицию	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Возврат курсора в нулевую позицию	0	0	0	0	0	0	0	1	-	
Выбор направления сдвига курсора при записи следующего символа (I/D=1 – сдвиг вправо, I/D=0 – сдвиг влево); разрешение или запрет сдвига экрана (S=1 – сдвиг разрешён, S=0 – сдвиг запрещён)	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	
Включение/выключение дисплея (D=1 – дисплей включён, D=0 – дисплей отключён); включение/выключение отображения курсора на экране (C=1 – курсор отображается, C=0 – курсор не отображается); включение/выключение мигания курсора (B=1 – курсор мигает, B=0 – курсор не мигает)	0	0	0	0	0	1	D	C	B	
Сдвиг курсора/экрана (S/C=1 – сдвиг экрана, S/C=0 – сдвиг курсора; R/L=1 – сдвиг вправо, R/L=0 – сдвиг влево)	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	
Выбор режима работы (DL=1 – 8-разрядный, DL=0 – 4-разрядный); выбор количества используемых для работы строк экрана (N=1 – 2 строки, N=0 – 1 строка); выбор размера отображаемых на экране символов (F=1 – шрифт 5×7 пикс., F=0 – шрифт 5×10 пикс.)	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	
Выбор адреса (ACG) ячейки памяти CGRAM	0	0	1	ACG	ACG	ACG	ACG	ACG	ACG	
Выбор адреса (ADD) ячейки памяти DDRAM	0	1	ADD							
Запись данных в выбранную ячейку памяти DDRAM или CGRAM	8-разрядный режим	1	8 бит	7 бит	6 бит	5 бит	4 бит	3 бит	2 бит	1 бит
		4-разрядный режим	1	8 бит	7 бит	6 бит	5 бит	-	-	-
				4 бит	3 бит	2 бит	1 бит	-	-	-

троллера ATmega16 линии выполняется программно в соответствии с таблицей.

Необходимо отметить, что контроллер HD44780 содержит 3 вида памяти:

1. DDRAM – оперативное запоминающее устройство, в котором хранятся коды символов, отображаемых на экране.
2. CGROM – постоянное запоминающее устройство, которое содержит «битовое изображение» символов.
3. CGRAM – оперативное запоминающее устройство, является частью CGROM, предназначено для хранения символов пользователя.

Последовательность действий, которые необходимо выполнить управляющей схеме при совершении операции записи по 8-разрядной шине, может быть следующей:

1. Установить значение линии RW=0 (запись в микросхему буквенно-цифрового дисплея).
2. Установить значение линии RS=0 (приём команд).
3. Вывести значение байта команды 00001111 на линии шины D0...D7 (команда включения дисплея).
4. Вывести значение байта команды 00110100 на линии шины D0...D7 (установка разрядности шины).
5. Вывести значение байта команды 00000001 на линии шины D0...D7

(очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию).

6. Установить значение линии RS=1 (приём данных).
7. Вывести значение байта данных на линии шины D0...D7.

Необходимо учитывать, что большинство операций, выполняемых контроллером, занимают значительное время, около 40 мкс, а время выполнения некоторых доходит до единиц миллисекунд, поэтому в программе управления жидкокристаллическим модулем совершенно любой операции должны предшествовать команды задержки. Также необходимо обеспечить формирование тактового сигнала на линии E микросхемы буквенно-цифрового дисплея. Сделать это можно программно посредством чередования подачи значений нуля и единицы.

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ РАБОТЫ СО СТРОКАМИ ЯЗЫКА C ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУКВЕННО-ЦИФРОВЫМИ ДИСПЛЕЯМИ

Язык C поддерживает множество функций обработки строк. Наиболее типичные операции над строковыми данными оформлены в виде функций стандартной библиотеки работы со строками, подключаемой к программе с помощью заголовочного файла

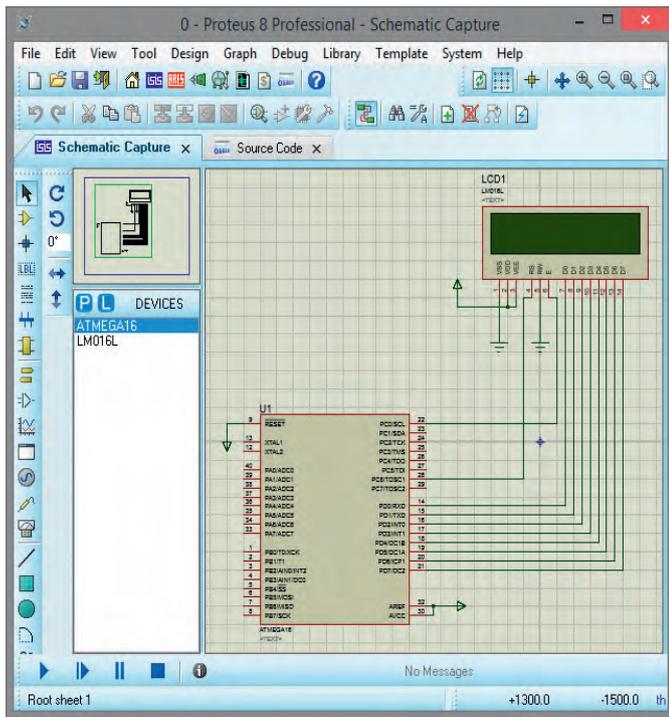


Рис. 3. Подключение микросхемы LM016L к схеме управления

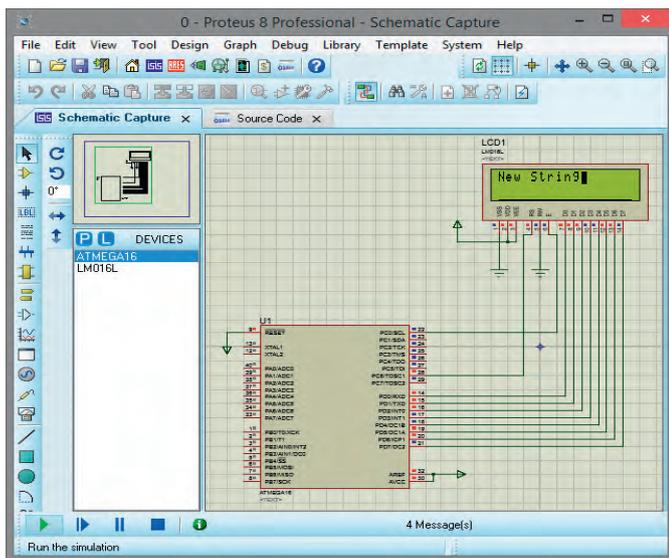


Рис. 4. Результат работы программы управления буквенно-цифровым дисплеем

string.h. Синтаксис подключения файла следующий: #include <string.h>.

Символьная строка представляет собой набор из одного или более символов. В языке C нет специального типа данных, который можно было бы использовать для описания строк, поэтому строки представляют в виде массива элементов типа char. Символы строки размещаются в памяти в соседних ячейках по одному. При этом последний элемент массива – это символ '\0', который в языке C используется для определения конца строки. Необходимо отметить, что нулевой символ – это не цифра 0, он не выводится на печать.

Наличие нулевого символа предусматривает, что количество ячеек массива должно быть на одну больше, чем число символов, которые необходимо разместить в памяти. К примеру, определение переменной char str[10] предусматривает, что строка может содержать максимум 9 символов.

Стандартная библиотека языка программирования C содержит класс функций для работы со строками. Для определения длины строки используется функция strlen(), которая возвращает число символов, при этом завершающий нулевой символ не учитывается. Функции strcpy() и strncpy() приме-

Листинг 1

```
#include <inttypes.h> // подключение заголовочных
// файлов
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h> // заголовочный файл для работы
// с функциями обработки строк

void e ( ) // подпрограмма формирования тактового
// сигнала на линии E дисплея
{PORTC |= 1<<0; // установка «1» на выводе PC0
// микроконтроллера
_delay_ms(200); // задержка
PORTC &=~ (1<<0); // установка «0» на выводе PC0
// микроконтроллера
_delay_ms(200); } // задержка

int main() // начало программы
{ int len, i;
char s[]="New String"; // текст строки для вывода
// на дисплей
DDRD=DDRC=0xff; // инициализация портов PD и PC
PORTD=PORTC=0x00; // порты PD и PC работают на вы-
// вод данных
e ( ); PORTC &=~ (1<<6); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b00001111; // включение дисплея
e ( ); PORTD=0b00110100; // установка 8-разрядной
// шины
e ( ); PORTD=0b00000001; // очистка дисплея и уста-
// новка курсора в нулевую позицию

len=strlen(s); // определение длины строки
// и запись полученного значения в переменную len
e ( ); PORTC |= 1<<6; // RS=1 (приём данных)
for (i=0;i<len;i++) // цикл вывода двоичного кода
// символов строки в порт PD
{PORTD=s[i]; // запись в порт PD двоичного кода
// очередного символа строки
e ( ); // вызов подпрограммы формирования тактового
// сигнала на линии E дисплея
}}
```

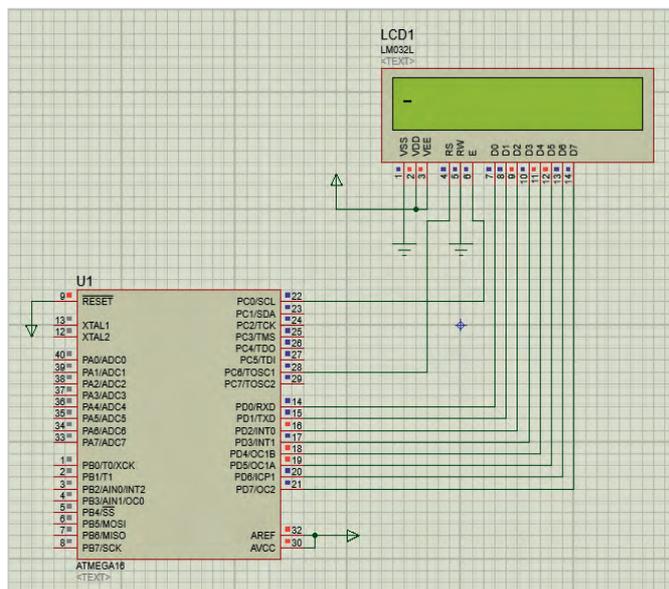


Рис. 5. Подключение микросхемы LM032L к схеме управления

няют для копирования строк, а функцию strdup() – для дублирования строки.

Применение функции strlen()

Рассмотрим работу с функцией strlen() на примере дисплея LM016L, разрешение которого составляет 16x2.

LM016L имеет 14 контактов, назначение которых следующее:

- VSS – GND;
- VDD – напряжение питания +5 В;
- VEE – напряжение контрастности от 0 до +5 В (настройка контрастности отображаемых на дисплее символов);
- RS – выбор регистра данных DR (RS=1) или команд IR (RS=0);

- RW – выбор операции чтения (RW=1) или записи (RW=0);
- E – линия синхронизации;
- D0...D7 – шина данных/команд.
- Необходимо отметить, что все дисплеи на основе контроллера HD44780 имеют схожую распиновку.

Подсоединим выводы модуля дисплея D0...D7 к выводам порта PD0...PD7, а выводы RS и E к выводам PC6 и PC0 порта микроконтроллера ATmega16, как показано на рисунке 3. Вывод RW подключим к «земле», поскольку в данной системе будет выполняться только запись информации в микросхему LM016L. Выводы VSS и VDD подключим к «земле» и напряжению +5 В соответственно. На вывод VEE подаётся напряжение контрастности (от 0 до +5 В). На практике этот вывод подключается к питанию через подстроечный резистор, который позволяет плавно регулировать контрастность отображения символов на дисплее.

Используя систему команд контроллера HD44780, напишем на языке C программу для микроконтроллера ATmega16, которая в качестве примера будет выводить на экран дисплея заданную строку (см. листинг 1).

Введём код программы на вкладке Source Code схемного проекта и запустим моделирование. На экран микросхемы LM016L будет посимвольно выведена строка определённой длины, двоичные коды символов которой были поданы на шину D0...D7. Результат представлен на рисунке 4.

Применение функций *strcpy()* и *strncpy()*

Используя функции *strcpy(s1, s2)* и *strncpy(s1, s3, 5)* с указанными параметрами, скопируем строку s2 в строку s1 и выведем полученный текст с 10-й позиции 1-й строки, а также скопируем 5 символов из строки s3 в строку s1 и выведем полученный текст с 8-й позиции 2-й строки дисплея LM032L. Подключение дисплея к схеме управления представлено на рисунке 5. Текст программы на языке C приведён в листинге 2.

Изначально в программе строковым переменным присвоены следующие значения: `char s1[]="Stroka "`, `char s2[]="Vuvod texta"`, `char s3[]="Obzor knigi"`. После выполнения функции *strcpy(s1, s2)* в переменную s1 заносится текст `Vuvod texta`. При этом текст `Stroka`, который хранился в переменной s1, затирается. Таким образом, в цикле `for (i=0;i<len1;i++) { PORTD=s1[i]; e (); }` на экран первой строки дисплея

Листинг 2

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h>

void e ( )
{PORTC |= 1<<0; // установка «1» на выводе PC0 микроконтроллера
 delay_ms(200); // задержка
PORTC &=~ (1<<0); // установка «0» на выводе PC0 микроконтроллера
_delay_ms(200); } // задержка

int main()
{int len1, len2, i;
char s1[]="Stroka"; // строка 1
char s2[]="Vuvod texta"; // строка 2
char s3[]="Obzor knigi"; // строка 3
DDRD=DDRC=0xff; // инициализация портов PD и PC
PORTD=PORTC=0x00; // порты PD и PC работают на вывод данных
e ( ); PORTC &=~ (1<<6); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b00001111; // включение дисплея
e ( ); PORTD=0b00110100; // установка 8-разрядной шины
e ( ); PORTD=0b00000001; // очистка дисплея и установка курсора в нулевую позицию
e ( ); PORTD=0b00111000; // установка 2-строчного режима
e ( ); PORTD=0b10001001; // выбор адреса ячейки памяти DDRAM (10 позиция 1 строки)
e ( ); PORTC |= 1<<6; // RS=1 (приём данных)

strcpy(s1,s2); // копирование строки s2 в строку s1
len1=strlen(s1); // определение длины строки s1
for (i=0;i<len1;i++)
{ PORTD=s1[i]; e ( );} // вывод строки Vuvod texta на экран дисплея

PORTC &=~ (1<<6); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b10001001; // выбор адреса ячейки памяти DDRAM (8 позиция 2 строки)
e ( ); PORTC |= 1<<6; // RS=1 (приём данных)

strncpy(s1,s3,5); // копирование 5 символов строки s3 в строку s1
len2=strlen(s1); // определение длины строки s1
for (i=0;i<len2;i++)
{ PORTD=s1[i]; // вывод строки Obzor texta на экран дисплея
e ( );} // вызов подпрограммы формирования тактового сигнала на линии E дисплея
```

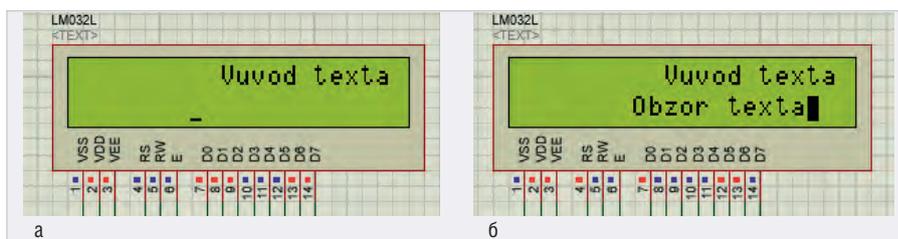


Рис. 6. Результат применения функций: а) *strcpy(s1, s2)*; б) *strncpy(s1, s3, 5)*

выводится текст `Vuvod texta` (см. рис. 6а). После выполнения функции *strncpy(s1, s3, 5)* в переменную s1, в которой хранится текст `Vuvod texta`, копируется 5 символов из строки s3 (символы `Obzor`). При этом 5 символов текста `Vuvod`, которые хранились в переменной s1, затираются. Таким образом, в цикле `for (i=0;i<len2;i++) { PORTD=s1[i]; e (); }` на экран во 2-ю строку дисплея выводится текст `Obzor texta` (см. рис. 6б).

Применение функции *strdup()*

Функция *strdup()* выполняет дублирование строк с выделением памяти под новую строку. Синтаксис функции: `char *strdup(const char *str)`, где `str` – указатель на дублируемую строку. В представленном примере функция *strdup()* дублирует строку, на которую указывает аргумент `str`, результат выводится на экран дисплея LM032L, начиная с 10-й позиции 1-й строки (см. рис. 7). Память под дубликат строки выделяется с помощью функции *malloc()* и по окончании работы с дубликатом очища-

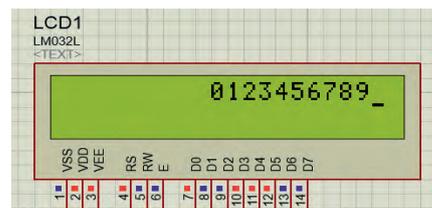


Рис. 7. Результат применения функции *strdup()*

ется с помощью функции *free()*. Пример программы приведён в листинге 3.

Применение функции *strtok()*

При выводе информации на экран дисплея может быть полезной функция *strtok()*, назначение которой – разбиение заданной строки на отдельные части по указанному разделителю.

Синтаксис функции: `char *strtok(const char *str, const char *sep)`, где `str` – указатель на разбиваемую строку, `sep` – указатель на строку, содержащую символ-разделитель. При первом вызове функции в качестве первого параметра указывается строка, которую требуется разбить, вторым параметром указывается стро-

Листинг 3

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h> // заголовочный файл для работы
со строковыми функциями
#include <stdlib.h> // подключение заголовочного
файла для работы с функцией free

void e ( )
{PORTC |= 1<<0; // установка «1» на выводе PC0
микроконтроллера
_delay_ms(200); // задержка
PORTC &=~ (1<<0); // установка «0» на выводе PC0
микроконтроллера
_delay_ms(200);} // задержка

int main()
{ int len, i;
DDR=DDRC=0xff; // инициализация портов PD и PC
PORTD=PORTC=0x00; // порты PD и PC работают на вы-
вод данных
e ( ); PORTC &=~ (1<<6); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b00001111; // включение дисплея
e ( ); PORTD=0b00110100; // установка 8-разрядной
шины
e ( ); PORTD=0b00000001; //очистка дисплея и уста-
новка курсора в нулевую позицию
e ( ); PORTD=0b00111000; // установка 2-строчного
режима
e ( ); PORTD=0b10001001; // выбор адреса ячейки па-
мяти DDRAM (10 позиция 1 строки)
e ( ); PORTC |= 1<<6; // RS=1 (приём данных)

char str[]="0123456789"; // исходная строка
char *str2; // переменная, в которую будет помещён
указатель на дубликат строки
str2=strdup(str); // дублирование строки str
len=strlen(str2); // определение длины строки str2
for (i=0;i<len;i++)
{ PORTD=str2[i]; // вывод строки str2 на экран дис-
плея
e ( ); } // вызов подпрограммы формирования такто-
вого сигнала на линии E дисплея
free (str2); } // очистка памяти, выделенной под
дубликат строки
```

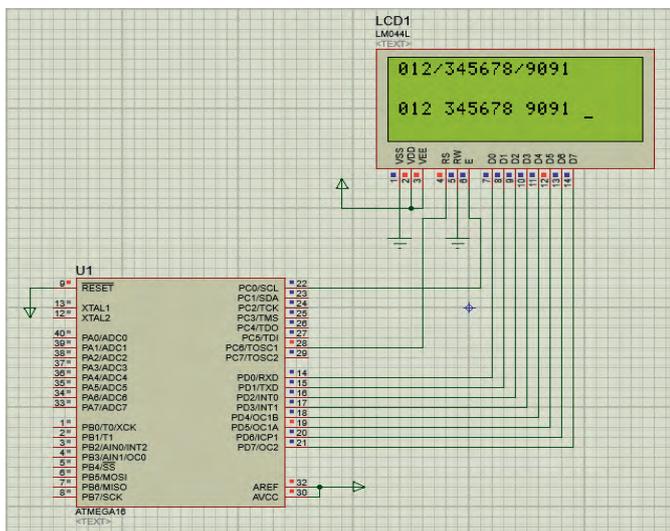


Рис. 8. Результат применения функции strtok()

ка-разделитель. При последующих вызовах функции для этой же строки первым параметром должен быть NULL.

В представленном примере (см. листинг 4) строка 012/345678/9091 разбивается на части по разделителю «/». Исходный набор символов выводится на экран дисплея LM044L, начиная с 1-й позиции 1-й строки, затем функция strtok() определяет первый фрагмент в исходной строке, далее при помощи функции strlen() выполняются определение длины этого фрагмента и его посимвольный вывод начиная с 3-й строки дисплея в цикле for (i=0;i<len;i++). Функция strtok() выделяет фрагменты по разделителю «/»,

пока не будет достигнут конец строки. В данном примере фрагменты новой строки разделены пробелами.

Отметим, что система команд контроллера HD44780 предусматривает установку 1- и 2-строчного режимов и для вывода символов на все 4 строки дисплея LM044L используется 2-строчный режим.

Например, чтобы задать вывод на дисплей LM044L двух строк (каждой с новой строки) начиная, к примеру, с 1-го бита 1-й и 3-й строк дисплея, необходимо в режиме приёма команд (RS=0) подать на 8-разрядную шину микросхемы LM044L следующие команды:

Листинг 4

```
#include <inttypes.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h>

void e ( )
{PORTC |= 1<<0; // установка «1» на выводе PC0
микроконтроллера
_delay_ms(200); // задержка
PORTC &=~ (1<<0); // установка «0» на выводе PC0
микроконтроллера
_delay_ms(200);} // задержка

int main()
{ int len, i;
DDR=DDRC=0xff; // инициализация портов PD и PC
PORTD=PORTC=0x00; // порты PD и PC работают на вы-
вод данных
e ( ); PORTC &=~ (1<<6); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b00001111; // включение дисплея
e ( ); PORTD=0b00110100; // установка 8-разрядной
шины
e ( ); PORTD=0b00000001; //очистка дисплея и уста-
новка курсора в нулевую позицию
e ( ); PORTD=0b00111000; // установка 2-строчного
режима
e ( ); PORTD=0b10000000; // выбор адреса ячейки па-
мяти DDRAM (1 позиция 1 строки)
e ( ); PORTC |= 1<<6; // RS=1 (приём данных)

char str[]="012/345678/9091"; // исходная строка
char razdelitel="/"; // разделитель
char probel=" "; // пробел
char *str2; // переменная, в которую будет занос-
иться указатель на новый фрагмент строки

len=strlen(str); // определение длины строки str
for (i=0;i<len;i++)
{ PORTD=str[i]; e ( ); } // вывод исходной строки
символов на первую строку дисплея

PORTC &=~ (1<<6); // RS=0 (приём команд)
e ( ); PORTD=0b10010100; // выбор адреса ячейки па-
мяти DDRAM (1 позиция 3 строки)
e ( ); PORTC |= 1<<6; // RS=1 (приём данных)

str2=strtok(str,razdelitel); // выделение первого
фрагмента строки str
while (str2 != NULL) // выделение следующих фраг-
ментов
{len=strlen(str2); // определение длины очередного
фрагмента

for (i=0;i<len;i++)
{ PORTD=str2[i]; e ( ); } // посимвольный вывод
фрагмента на 3 строку дисплея
PORTD=probel[0]; e ( ); // отделение фрагментов
строки пробелом
str2=strtok(NULL,razdelitel); // выделение очеред-
ного фрагмента строки
}}
```

- D7=0, D6=0, D5=1, D4=1, D3=1, D2=0, D1=0, D0=0 (установка 2-строчного режима);
- D7=1, D6=x6, D5=x5, D4=x4, D3=x3, D2=x2, D1=x1, D0=x0 (выбор адреса ячейки памяти DDRAM, где значения x6...x0 – это двоичный код адреса ячейки памяти DDRAM).

Результат моделирования схемы представлен на рисунке 8.

ЛИТЕРАТУРА

1. HD44780U (LCD-II) (Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver). Hitachi, Ltd. 1998.
2. ISIS Help, Labcenter Electronics, 2014. ©

НОВОСТИ МИРА

USB-ПЛАТФОРМА СЕРИИ STREAMLINE: РАСШИРЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БЕЗ КОМПРОМИССОВ

Keysight Technologies представляет новую измерительную платформу, гарантирующую стабильность и воспроизводимость результатов измерений на всех этапах разработки. Новая серия Streamline состоит из компактных USB-приборов: векторных анализаторов цепей (VNA), осциллографов и генераторов сигналов произвольной формы (AWG), которые используют проверенные временем технологии, алгоритмы измерения и прикладное программное обеспечение Keysight.

Измерительная платформа Streamline позволяет разработчикам в условиях жёсткой конкурентной борьбы обеспечить эффективность, оптимизацию ресурсов и соблюдение сжатых сроков при создании новых электронных устройств. Теперь заказчики могут быть уверены, что при переходе от одного этапа разработки к другому они получают точные и воспроизводимые результаты измерений независимо от типа используемого прибора – USB, модульного или настольного.

Управление новыми приборами Keysight осуществляется с ПК через интерфейс USB,

за счёт чего экономится место на рабочем столе. Кроме того, такими приборами могут пользоваться все члены группы разработчиков. USB-приборы занимают мало места в стойке, поэтому они идеальны для ручного или полуавтоматического тестирования при выполнении квалификационных испытаний и в мелкосерийном производстве.

Платформа Keysight серии Streamline объединяет следующие модели:

- Компактные двухпортовые векторные анализаторы цепей серии P937xA с диапазоном частот до 26,5 ГГц предназначены для тестирования пассивных устройств, таких как антенны, фильтры и дуплексеры. При работе на внешнем ПК контекстно ориентированный интерфейс пользователя идентичен интерфейсу последних моделей настольных векторных анализаторов цепей Keysight.
- Высокопроизводительные осциллографы серии P924xA обеспечивают полный набор измерительных функций, а также расширенные возможности запуска, высокую скорость обновления сигналов на экране и такие востребованные функции, как запуск по выделенной зоне. При работе на пользовательском ПК использу-



ется интерфейс осциллографа Keysight InfiniiVision, аналогичный интерфейсу настольных осциллографов.

- Трёхканальный генератор сигналов произвольной формы P9336A, использующий уникальную технологию Trueform, обеспечивает разрешение 16 разрядов с максимальной полосой анализа 540 МГц и максимальной встроенной памятью 4 ГБ. Области применения – от стандартного тестирования до генерации сложных сигналов I/Q для получения характеристик приёмопередатчиков и модуляторов. Создание сигналов упрощено за счёт совместимости USB-генератора сигналов произвольной формы с ПО Signal Studio.

Пресс-служба Keysight Technologies

XLight

Серия светодиодных кластеров XLD-LINE с питанием 12 или 24 В



Преимущества

- Простота подключения благодаря специальным разъёмам
- Деление на отрезки
- Коммутация кластеров в линию произвольной длины
- Высокий световой поток
- Широкий диапазон рабочих температур –40...+70°C
- Безопасное низковольтное оборудование
- Срок службы не менее 50 000 часов



(495) 232-1652

info@xlight.ru

www.xlight.ru



Реклама

Устройство для новогодней ёлки

Сергей Шишкин (schischckin.sergei2014@yandex.ru)

В статье представлено устройство для оформления новогодней ёлки, выполненное на базе микроконтроллеров ATtiny2313. Основные составные части устройства: контроллеры световых эффектов с заданием номера исполняемого светового эффекта и скорости переключения индикаторов, реле времени, блок управления вращением ёлки.

Предлагаемое устройство прежде всего ориентировано на украшение новогодней ёлки, но может быть использовано также для оформления праздничных иллюминаций. Праздничный антураж создают световая иллюминация и вращение ёлки с изменением направления. Устройство выполнено на микроконтроллерах ATtiny2313. Его функциональная схема приведена на рисунке 1.

Составные части устройства: плата клавиатуры, контроллеры световых эффектов № 1 и № 2 (далее – КСЭ № 1 и КСЭ № 2), реле времени № 1 и № 2 (далее – РВ № 1 и РВ № 2), блок управления вращением ёлки (далее – БУВ). Временная диаграмма работы устройства приведена на рисунке 2.

РВ № 1 задаёт интервалы работы T1 и T2 КСЭ № 1 и КСЭ № 2. T1 – интервал, в течение которого функционируют гирлянды КСЭ № 1. В течение данного интервала КСЭ № 1 реализует световой эффект, который задан заранее. T2 – интервал, в течение которого функционируют гирлянды КСЭ № 2.

В течение данного интервала КСЭ № 2 реализует световой эффект, который задан заранее.

Световые эффекты, реализуемые в КСЭ № 1 и КСЭ № 2, будут приведены ниже. РВ № 2 задаёт интервал вращения ёлки по часовой стрелке T3 и интервал вращения ёлки против часовой стрелки T4. Интервал T1 равен интервалу T2. Соответственно, T3 равен T4.

Принципиальная схема КСЭ № 1 приведена на рисунке 3. КСЭ № 1 и КСЭ № 2 совершенно идентичны. Принципиальная схема РВ № 1 приведена на рисунке 4. Принципиальная схема платы клавиатуры приведена на рисунке 5.

Соединители X2, X4 платы клавиатуры подключаются соответственно к соединителям X1 КСЭ № 1 и КСЭ № 2. Соединители X3, X5 платы клавиатуры подключаются соответственно к соединителям X2 РВ № 1 и РВ № 2. Галетный переключатель SA1 платы клавиатуры имеет четыре положения: «1», «2», «3», «4». Если SA1 установлен в положение «1», то клавиатура (кнопки S1...S5) под-

ключена к КСЭ № 1 (кнопки S6...S8 при этом не задействованы). Если SA1 установлен в положение «2», то клавиатура (кнопки S1...S8) подключена к реле времени № 1. Если SA1 установлен в положение «3», то клавиатура (кнопки S1...S5) подключена к КСЭ № 2 (кнопки S6...S8 при этом не задействованы). Если же SA1 установлен в положение «4», то клавиатура (кнопки S1...S8) подключена к РВ № 2.

Пусть галетный переключатель SA1 платы клавиатуры установлен в положение «1».

Для описания световых эффектов, реализуемых в КСЭ № 1, введём следующие условные обозначения: индикатор HL1 – индикатор № 1, индикатор HL2 – индикатор № 2, индикатор HL64 – индикатор № 64. Конструктивно индикаторы № 1...№ 8 образуют собой гирлянду (далее – гирлянда № 1), соответственно, индикаторы № 9...№ 16 образуют гирлянду № 2 и т.д. Индикаторы № 57...№ 64 – гирлянда № 8. Считаем также, что конструктивно все индикаторы в гирлянде расположены в один ряд. Что касается ёлки, то на левой её стороне целесообразно разместить гирлянды с нечётными номерами, на правой – с чётными.

В интерфейс управления КСЭ № 1 входят: клавиатура (кнопки S1...S5 на плате клавиатуры), дисплей из двух цифровых индикаторов HG1, HG2.

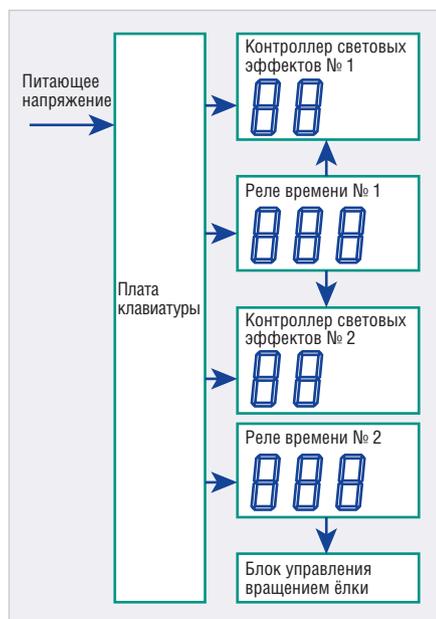


Рис. 1. Функциональная схема устройства



Рис. 2. Временная диаграмма работы устройства: а) интервалы работы, задаваемые РВ № 1; б) интервалы работы, задаваемые РВ № 2

Число, индицируемое на индикаторе HG1, определяет номер светового эффекта, исполняемого в устройстве. Число, индицируемое на индикаторе HG2, определяет относительную скорость переключения индикаторов в выбранном световом эффекте. Данное число может изменяться в пределах от 1 до 9 с шагом 1.

Кнопки клавиатуры имеют следующее назначение:

- S1 (Δ) – инкремент числа, индицируемого на индикаторе HG1 (выбор номера выполняемого светового эффекта); инкремент числа, индицируемого на индикаторе HG2 (увеличение скорости);
- S2 (∇) – декремент числа, индицируемого на индикаторе HG1 (выбор номера выполняемого светового эффекта); декремент числа, индицируемого на индикаторе HG2 (уменьшение скорости);
- S3 (C) – старт/стоп (после нажатия на данную кнопку устройство реализует световой эффект, индицируемый на индикаторе HG1, со скоростью переключения, индицируемой на индикаторе HG2);
- S4 (B) – включить/выключить все индикаторы HL1...HL64 (после нажатия на данную кнопку включаются/выключаются все индикаторы HL1...HL64. Данная опция необходима для проверки работоспособности всех индикаторов в устройстве);
- S5 (P) – кнопка выбора режима работы кнопок S1, S2 – задание светового эффекта или задание скорости (при выборе режима задания скорости у индикатора HG2 включается точка h).

Номера световых эффектов задаются кнопками S1, S2 и далее подтверждаются кнопкой S3. Световые эффекты, реализуемые в устройстве, аналогичны описанным в статье [3].

Алгоритм работы КСЭ № 1 следующий. Номер исполняемого светового эффекта задаётся кнопками S1, S2. Далее необходимо нажать кнопку S4 (B), при этом включится точка h в индикаторе HG2 дисплея. Далее кнопками S1, S2 задаётся скорость переключения индикаторов в выбранном световом эффекте. Исполнение эффекта начинается после нажатия кнопки S3 (C). Для исполнения другого светового эффекта (или для изменения скорости переключения индикаторов в исполняемом) необходимо нажать кнопку S3 (C) (остановить исполняемый световой эффект) и выполнить вышеуказанные

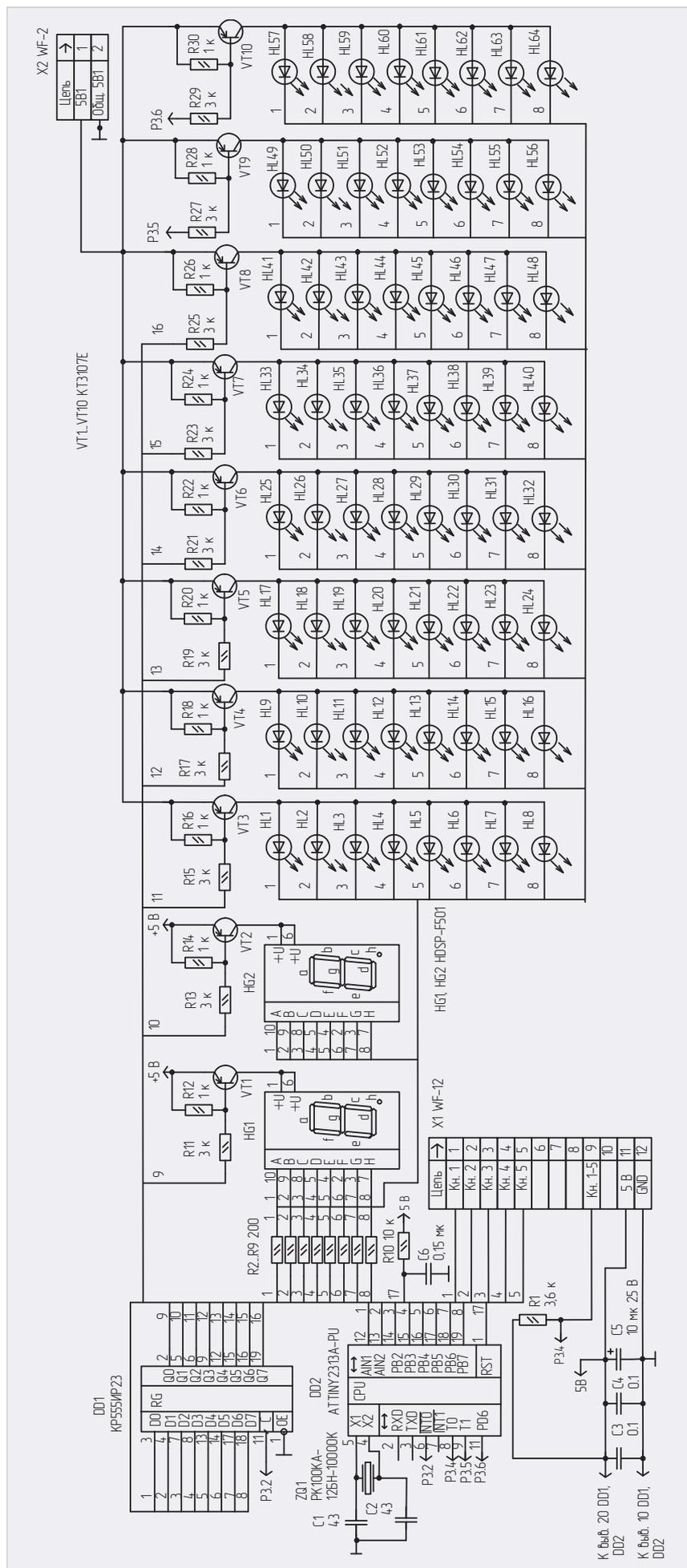


Рис. 3. Принципиальная схема КСЭ № 1

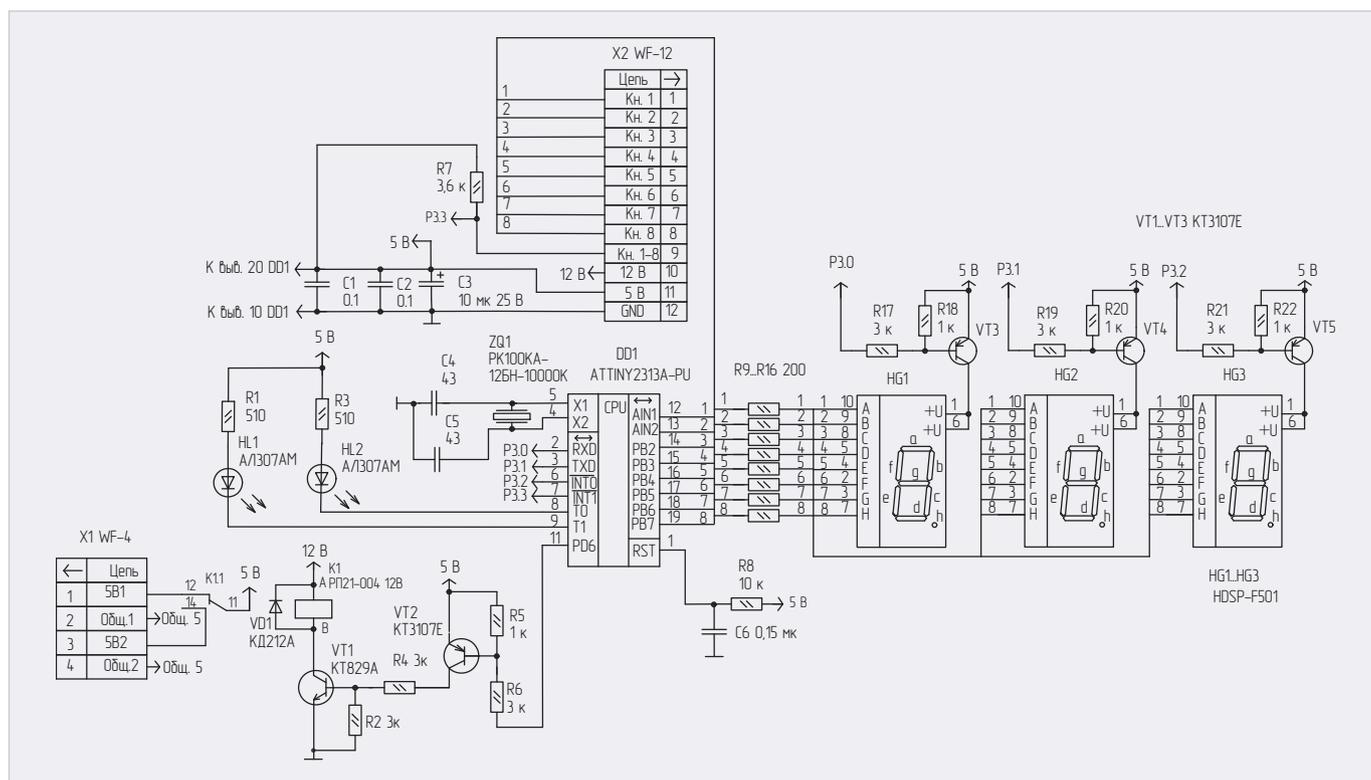


Рис. 4. Принципиальная схема РВ № 1

операции. На 7-сегментном индикаторе HG1 буква В и цифра 8, а также буква D и цифра 0 индицируются одинаково, поэтому при индицировании букв В и D на 7-сегментном индикаторе HG1 включается точка h.

Рассмотрим основные функциональные узлы принципиальной схемы устройства. Рабочая частота микроконтроллера DD2 задаётся генератором с внешним резонатором ZQ1 на 10 МГц. С порта РВ микроконтроллер DD2 управляет индикаторами гирлянд № 1...№ 8. Соответственно, гирлянды управляются ключами, выполненными на транзисторах VT3...VT10. Данные ключи управляются с выводов синхронного регистра DD1. Резисторы R2...R9 – токоограничительные для индикаторов HL1...HL64. Данные индикаторы и индикаторы HG1, HG2 работают в режиме динамической индикации. Коды для включения индикаторов при функционировании динамической индикации поступают на вход порта РВ микроконтроллера DD2. Регистр DD1 управляет ключами VT1...VT10. Для функционирования клавиатуры задействован вывод 8 микроконтроллера DD2. Питательное напряжение поступает на плату с соединителя X1. Конденсатор C5 фильтрует пульсации в цепи питания +5 В. Сразу после подачи питания на выводе 1 микроконтроллера DD2 через RC-цепь (резистор R10, конденсатор C6) формируется сигнал

системного аппаратного сброса микроконтроллера. При инициализации во все разряды портов микроконтроллера DD1 записывается лог. 1.

Ключи на транзисторах VT3...VT10 закрыты, индикаторы HL1...HL64 выключены. С соединителя X1 РВ № 1 на соединителя X2 КСЭ № 1 и КСЭ № 2 поступает питающее напряжение для питания гирлянд КСЭ № 1 и КСЭ № 2. Алгоритм работы РВ № 1 с КСЭ № 1 и КСЭ № 2 будет приведён ниже.

Программное обеспечение микроконтроллера DD2 обеспечивает реализацию алгоритма работы задаваемых световых эффектов в режиме динамической индикации. Задача по формированию временного интервала для включения индикаторов на каждой гирлянде (или интервала переключения индикаторов и гирлянд) решена с помощью прерываний от таймера/счётчика 1 и счётчиков на регистрах r8 (sek1) и r13 (min1). Таймер/счётчик 1 формирует запрос на прерывание, счётчики на регистрах r8 и r13 подсчитывают количество, и устанавливается необходимый флаг (нулевой разряд регистра r19 (flo)). Скорость переключения индикаторов меняется путём изменения числа, загружаемого в регистр r13 (min1).

Программа состоит из трёх основных частей: процедуры инициализации, основной программы, работающей в замкнутом цикле, и подпрограм-

мы обработки прерывания от таймера/счётчика 1. В подпрограмме обработки прерывания осуществляются формирование временного интервала для включения индикаторов, опрос клавиатуры, работа динамической индикации, а также происходит выполнение всех световых эффектов, реализованных в устройстве. В памяти данных микроконтроллера DD1 с адресов 60H...69H организован буфер отображения для динамической индикации. По адресу 60H размещён байт номера отображаемого светового эффекта. По адресу 61H размещено число, задающее скорость переключения. Данные байты после перекодировки в режиме динамической индикации выводятся на дисплей устройства. 62H...69H – адреса, где хранятся текущие значения для индикаторов HL1...HL64 (гирлянд № 1...№ 8). Доступ к данным в адресном пространстве с помощью адресных указателей следующий: адреса гирлянд № 1...№ 8 и байты номеров светового эффекта и скорости загружаются в Y-регистр во фрагментах программы, где происходит выполнение светового эффекта, Z-регистр задействован только во фрагменте динамической индикации.

Разработанная программа на ассемблере занимает порядка 2 Кбайт памяти программ (flash-память программ) микроконтроллера, то есть память

заполнена полностью. Как видно из схемы, аппаратно в микроконтроллере задействованы все ресурсы. Из периферийных устройств в микроконтроллере задействован только таймер/счётчик 1.

В КСЭ № 1 (КСЭ № 2) использованы резисторы C2-33Н-0,125, однако подойдут и любые другие с такой же мощностью рассеивания и погрешностью 5%. Конденсаторы C1...C4, C6 – типа К10-17а, C5 – типа К50-35. 7-сегментные индикаторы НГ1, НГ2 – типа НДSP-F501, индикаторы НЛ1...НЛ64 – типа КИПД40С20-Л4-П7.

Пусть галетный переключатель SA1 платы клавиатуры установлен в положение «2». Рассмотрим работу РВ № 1. Канал управления реле К1 собран на транзисторах VT1, VT2. Канал управляется с вывода 11 микроконтроллера DD1. С порта РВ микроконтроллер DD1 управляет клавиатурой (кнопки S1...S9) и динамической индикацией. Динамическая индикация собрана на транзисторах VT2...VT4, цифровых 7-сегментных индикаторах НГ1...НГ3. Резисторы R6...R13 – токоограничительные для сегментов индикаторов НГ1...НГ3. Коды для включения индикаторов НГ1...НГ3 при функционировании динамической индикации поступают на вход РВ микроконтроллера DD1. Для функционирования клавиатуры задействован вывод 7 микроконтроллера DD1.

Элементы интерфейса управления и контроля РВ № 1 имеют следующее назначение:

- S1 (Δ) – увеличение на единицу значения, индицируемого на дисплее, при установке времени в минутах (секундах); при удержании данной кнопки в нажатом состоянии более 5 с значение времени, индицируемое на дисплее, увеличивается на 5 единиц за 1 с;
- S2 (V) – уменьшение на единицу значения, индицируемого на дисплее, при установке времени в минутах (секундах); соответственно, при удержании данной кнопки в нажатом состоянии более 5 с значение времени, индицируемое на дисплее, уменьшается на 5 единиц за 1 с;
- S3 (C) – старт/стоп (кнопка запуска/остановки устройства в режиме № 2. В рабочем цикле (который периодически повторяется) идёт обратный отсчёт заданных интервалов времени T1 и T2. С первым нажатием данной кнопки нагрузка подключается к сетевому напряжению, идёт

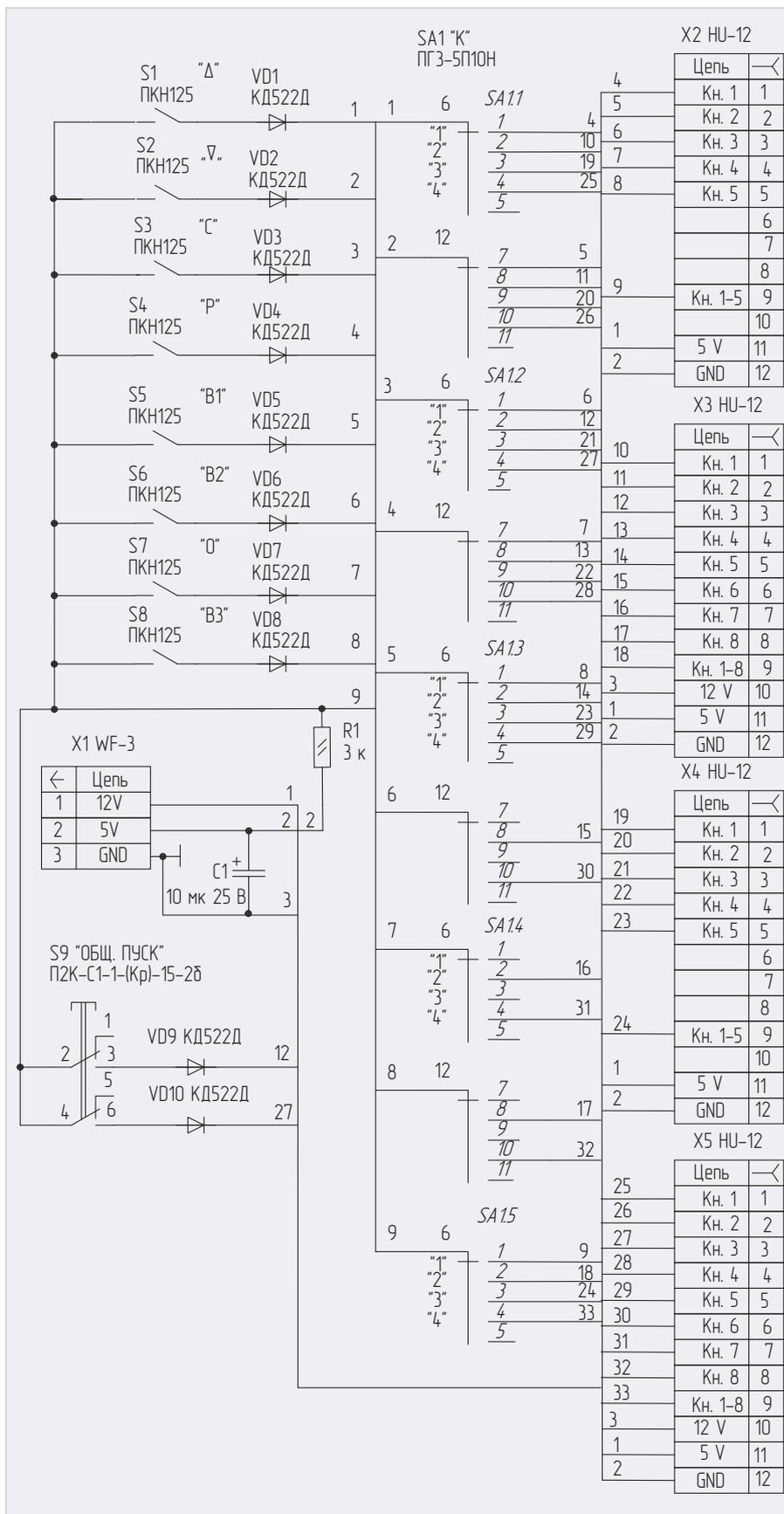


Рис. 5. Принципиальная схема платы клавиатуры

- S4 (P) – режим (кнопка выбора режима работы (режим № 1 или режим № 2));

- S5 (B1) – выбор (кнопка выбора интервалов T1 или T2);
- S6 (B2) – выбор (кнопка выбора временного режима работы (минуты или секунды));

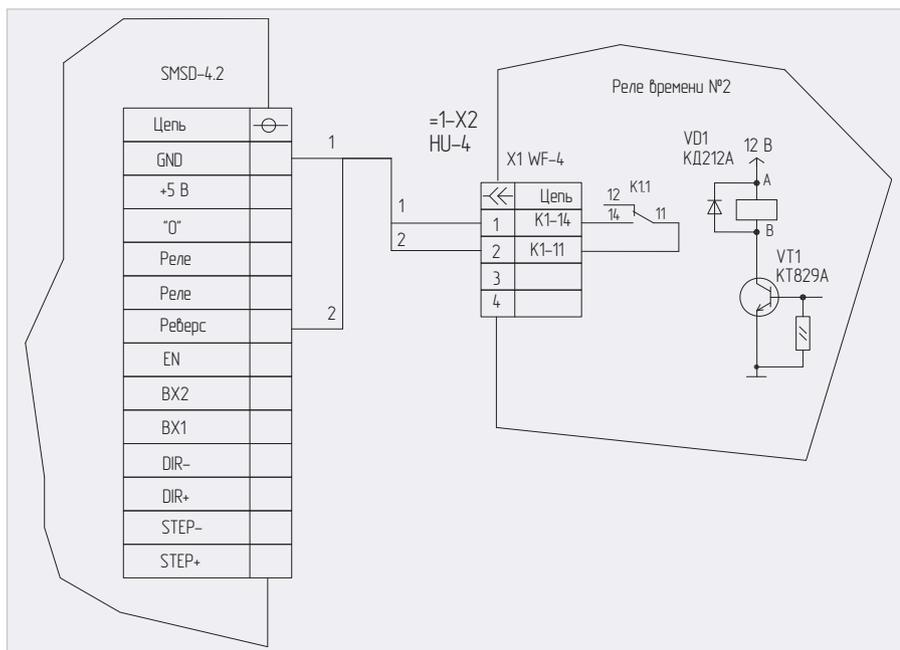


Рис. 6. Принципиальная схема БУВ ёлки

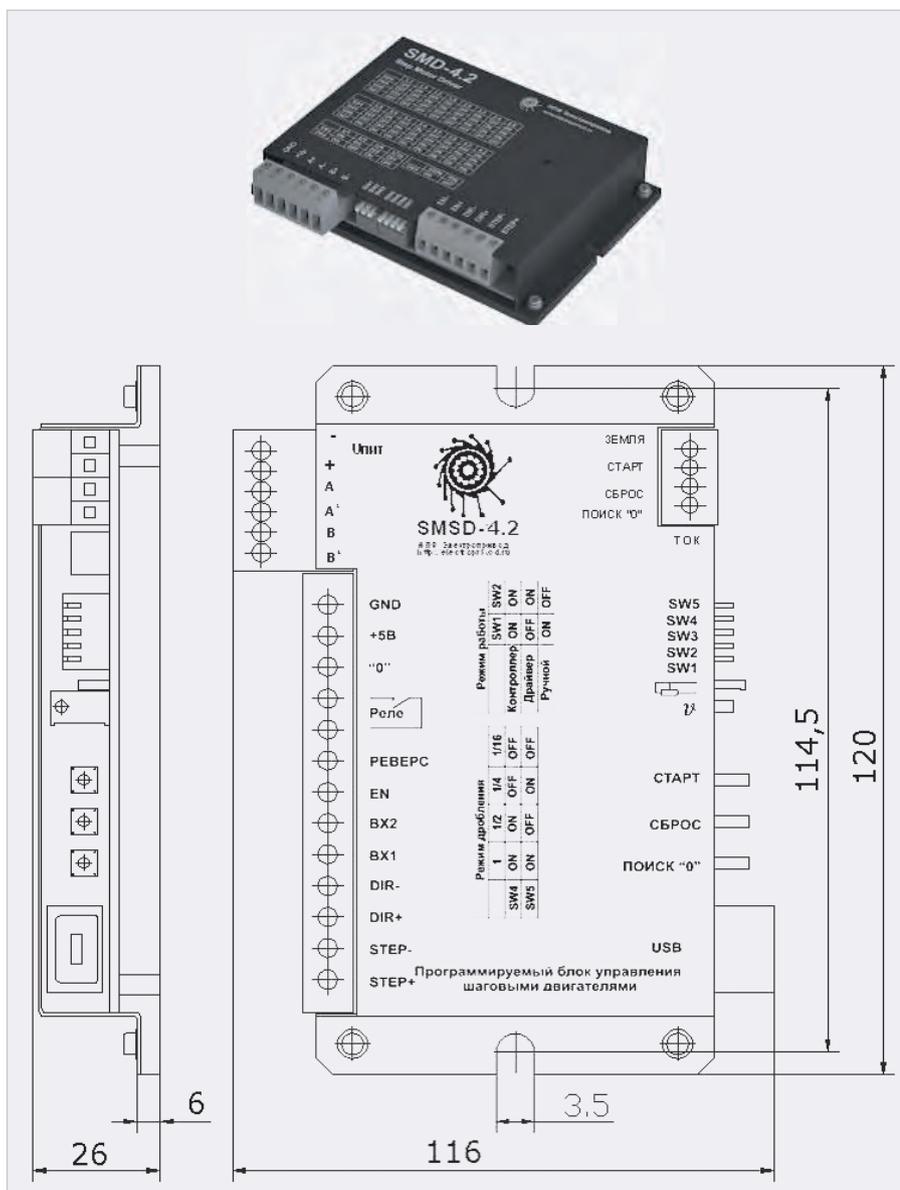


Рис. 7. Внешний вид блока управления SMSD-4.2

- S7 (O) – обнуление (кнопка экстренного обнуления заданных параметров T1 и T2 и выключения нагрузки);
- S8 (B3) – вкл./выкл. (кнопка принудительного (ручного) включения/выключения нагрузки. Вне зависимости от того, в каком режиме находится устройство, каждое нажатие данной кнопки меняет состояние нагрузки на противоположное);
- S9 (ОБЩ. ПУСК) – одновременный запуск РВ № 1 и РВ № 2;
- HL1 – индикатор режима работы устройства: HL1 горит – режим № 2, HL1 погашен – режим № 1 (назначение режимов будет приведено ниже);
- HL2 – индикатор интервалов T1 и T2: если HL2 горит, то на дисплее индицируется интервал T1; если HL2 погашен, то на дисплее индицируется интервал T2.

Разряды индикации интерфейса имеют следующее назначение:

- 1-й разряд (индикатор HG3) отображает единицы минут (единицы секунд) интервалов T1 и T2;
- 2-й разряд (индикатор HG2) отображает десятки минут (десятки секунд) интервалов T1 и T2;
- 3-й разряд (индикатор HG1) отображает сотни минут (сотни секунд) интервалов T1 и T2.

Для РВ № 1 предусмотрено два режима работы: режим задания параметров – режим № 1 и рабочий режим – режим № 2. В режиме № 1 (режим задания параметров) с клавиатуры устройства задаются значения интервалов включения T1 и выключения T2. В данном режиме запрещён счёт времени. На выводе 11 микроконтроллера DD1 устанавливается лог. 1. Интервалы T1 и T2 могут быть заданы как в минутах, так и в секундах в диапазоне от 999 до 1 с дискретностью 1. Визуально интервалы T1 и T2 поочередно можно контролировать на 3-разрядном дисплее. В режиме № 2 (рабочий режим) идёт обратный отсчёт заданных интервалов T1 и T2 в рабочем цикле. В интервале времени T1 на выводе 11 микроконтроллера DD1 устанавливается лог. 1 (реле K1 выключено). В интервал времени T2 на выводе 11 микроконтроллера DD1 устанавливается лог. 0 (реле K2 включено). Периодически, один раз в секунду, мигает точка h индикатора HG3. Чтобы запустить РВ № 1, необходимо задать интервалы T1, T2, перевести его в режим № 2 и нажать кнопку S3 (C). При независимой работе РВ № 1 и РВ № 2 нужно задать соответствующие интервалы и нажать кнопку S3 (C). Для одновременного запу-

ска РВ № 1 и РВ № 2, как уже упоминалось выше, необходимо нажать кнопку S9 (ОБЩ. ПУСК).

Сразу после подачи питания на вывод 1 микроконтроллера DD1 через RC-цепь (резистор R8, конденсатор C6) формируется сигнал системного аппаратного сброса микроконтроллера DD1, инициализируются регистры, счётчики, стек, таймер T/C1, сторожевой таймер, порты ввода/вывода. При инициализации на выводе 11 микроконтроллера DD1 устанавливается лог. 1. На индикаторах HG1...HG3 индицируются нули. Индикатор HL1 погашен, индикатор HL2 горит. Функциональный узел динамической индикации РВ № 1 аналогичен КСЭ № 1, но, в отличие от КСЭ № 1, он 3-разрядный.

Алгоритм работы РВ № 1 в рабочем цикле (в режиме «Секунды») следующий. После подачи питания необходимо с клавиатуры в режиме № 1 задать необходимые параметры работы устройства – интервалы включения T1 и выключения T2. При установке интервалов T1 и T2 в устройстве, как уже упоминалось выше, запрещается отсчёт текущего времени. Данные параметры индицируются на дисплее (индикаторы HG1...HG3). Далее необходимо перейти в режим № 2. Устройство переходит в рабочий цикл сразу после нажатия кнопки «Старт/стоп» (S3) в режиме № 2, при этом загорается индикатор HL1. Периодически, один раз в секунду, мигает точка h индикатора HG3. Микроконтроллер DD1 устанавливает лог. 0 на выходе 11 (включение реле K1). Время (интервал включения T1), индицируемое на дисплее, декрементируется с каждой секундой. Как только оно станет равно нулевому значению, микроконтроллер устанавливает лог. 1 на выходе 6 (выключение реле K1), при этом индикатор HL1 гаснет. Заданное значение T1 переписывается в память данных микроконтроллера с адресов \$066...\$068 на адреса \$060...\$062. Теперь дисплей индицирует первоначально заданное значение времени, равное интервалу выключения T2, которое хранится по адресам \$063...\$065. Реле K1 будет отключено в течение времени, равного интервалу выключения. Теперь время, индицируемое на дисплее (T2), декрементируется с каждой секундой. Как только оно станет равно нулевому значению, микроконтроллер устанавливает лог. 0 на выходе 11 (включение реле K1), при этом загорается индикатор HL1. Заданное значение T2 переписывается с адре-

сов \$069...\$06B на адреса \$063...\$065. На дисплее снова индицируется первоначально заданное значение времени, равное интервалу включения T1. Рабочий цикл завершён. Устройство работает совершенно аналогично в режиме «Минуты». В данном режиме интервалы T1 и T2 декрементируются с каждой минутой, при этом точка h индикатора HG3 также мигает один раз в секунду.

При выключенном реле K1 питающее напряжение 5 В поступает с РВ № 1 на гирлянды КСЭ № 1. При включённом реле K1 питающее напряжение 5 В поступает с РВ № 1 на гирлянды КСЭ № 2. То есть фактически гирлянды КСЭ № 1 и КСЭ № 2 работают поочередно. Это позволяет реализовать комбинацию различных световых эффектов. Игра мысли, полёт фантазии, непредсказуемость воображения, творческое хулиганство – всё это поможет в реализации любых других световых эффектов, не приведённых в статье, или при изменении параметров уже реализованных (изменение скорости переключения индикаторов, гирлянд, добавление в некоторые световые эффекты реверса или добавление в устройство каких-то дополнительных опций).

Разработанная программа на ассемблере занимает порядка 0,54 Кбайт памяти программ микроконтроллера. Потребление тока по каналу напряжения +5 В – не более 100 мА. На плате контроллера применены следующие элементы: конденсаторы C1, C2, C4 типа K10-17а, конденсаторы C3, C6 типа K50-35, резисторы типа C2-33H-0,125, индикаторы HG1...HG3 зелёного цвета типа HDSP-F501.

Принципиальная схема БУВ ёлки приведена на рисунке 6.

Представленный в устройстве БУВ позволяет осуществлять вращение ёлки с заданной скоростью с изменением направления вращения в заданные интервалы времени (см. рис. 2б).

БУВ выполнен на базе привода НПФ «Электропривод». Привод включает в себя программируемый блок управления шаговыми двигателями SMSD-4.2 и шаговый двигатель. Данный блок управления предназначен для управления работой шаговых двигателей с максимальным током питания каждой из фаз двигателя не более 4,2 А по заданной программе. Внешний вид блока управления SMSD-4.2 представлен на рисунке 7.

К SMSD-4.2 можно подключать шаговые двигатели серии FL86ST, FL86TH и др. Максимально допустимый ток фазы шагового двигателя – 4,2 А. Данные

шаговые двигатели могут поставляться с редукторами, например FL86STH65-2808AG, с максимально допустимым моментом до 250 кгс·м. Редуктор и шаговый двигатель, конечно, необходимо подбирать к каждой конкретной ёлке индивидуально. SMSD-4.2 может работать в режимах драйвера, контроллера, а также в ручном режиме [2].

Для работы SMSD-4.2 в составе БУВ его, согласно руководству по эксплуатации, нужно перевести в ручной режим. При этом скорость вращения вала двигателя (ёлки) регулируется вращением движка потенциометра в SMSD-4.2. Для изменения направления вращения необходимо замкнуть контакты «РЕВЕРС» и GND.

Принципиальная схема РВ № 2 отличается от РВ № 1 только подключением реле K1 к соединителю X1 (см. рис. 6). Во всём остальном: алгоритм работы, программное обеспечение – РВ № 1 идентично РВ № 2. Алгоритм работы БУВ вместе с РВ № 2 следующий (см. рис. 2б). После подачи питающих напряжений на устройство необходимо галетный переключатель SA1 платы клавиатуры установить в положение «4», задать параметры (временные интервалы T3 и T4) и нажать кнопку S3 (C) – «Старт». После окончания интервала T3 на плате РВ № 1 включится реле K1 (контакты 11, 14 замыкаются) (понятно, что контакты «РЕВЕРС» и GND в SMSD-4.2 замыкаются). Ёлка меняет направление своего вращения и т. д.

Представленные в статье составные части устройства представляют собой функционально законченные «цифровые кубики», которые не требуют никакой настройки и отладки. Применяя на плате клавиатуры галетные или модульные переключатели с большим количеством направлений и положений, можно задействовать большее количество таких «кубиков», а значит увеличить функциональные возможности устройства в целом.

Дополнительные материалы к статье доступны для скачивания на сайте журнала (soel.ru).

ЛИТЕРАТУРА

1. www.atmel.com
2. www.electroprivod.ru
3. Шишкин С. Устройство световых эффектов с управлением скоростью переключения и яркостью свечения // Современная электроника. 2017. № 7.
4. Шишкин С. «Бегущие огни» на микроконтроллере AT89C4051 // Радио. 2010. № 11. с. 46–48.



НОВОСТИ МИРА

**В КАКИХ РОССИЙСКИХ ВУЗАХ
УЧАТ ИНТЕРНЕТУ ВЕЩЕЙ**

В 10 вузах страны будет реализована образовательная программа «IoT Академия Samsung». Предполагается, что студенты образовательных учреждений Москвы, Санкт-Петербурга, Сибири, Татарстана, Урала и Якутии смогут пройти очное бесплатное обучение.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

В МИЭМ НИУ ВШЭ научно-исследовательская и образовательная работа в обла-

сти технологий IoT и беспроводных сенсорных сетей ведётся уже 10 лет. В 2017 году в вузе появилась магистерская программа «Интернет вещей и киберфизические системы». Программа направлена на комплексную подготовку квалифицированных специалистов в сфере IoT и киберфизических систем, которые смогут проводить исследования и разработки на мировом уровне. Первый набор слушателей намечен на 2018 год.

Обучаться по данной образовательной программе смогут студенты различного уровня и

профиля подготовки. Также предусмотрен ряд адаптационных дисциплин, которые помогут студенту, не имеющему профильного образования, получить знания и навыки для дальнейшего успешного обучения на программе.

Результатом научно-исследовательской и проектной работы станут научно-исследовательские и инновационные проекты, поэтому учащиеся приобретают опыт в области организации и управления проектами, защиты интеллектуальной собственности и инновационного менеджмента.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций.

В образовательной программе вуза Интернет вещей появился с момента открытия Лаборатории Интернета вещей в 2012 году. В учебные курсы были добавлены разделы, касающиеся терминологии, концепции, технологий, которые используются для взаимодействия устройств Интернета вещей.

Программа традиционно делится на этапы обучения в вузе (бакалавр – магистр – аспирант), имеется факультатив для студентов всех курсов и факультетов, которые изъявили желание после занятий развивать знания по направлению Интернета вещей. Кроме того, открыт профиль «Интернет вещей и гетерогенные сети» для иностранных студентов (обучение проходит на английском языке).

Производственная практика на 3-м и 4-м курсах по тематике Интернета вещей проходит на предприятиях Санкт-Петербурга. Выпускники СПбГУТ работают по специальности в профильных отделах таких компаний, как «Ростелеком», LG, Electrolux, «Мегафон», «Билайн», «МТС» и др.

Уральский федеральный университет.

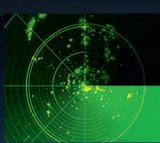
Образовательная программа с названием «IoT» в университете не открыта, однако освоение технологий Интернета вещей (беспроводная передача и приём информации, обработка данных, датчики и устройства управления и т.п.) давно включено в обучение студентов. Изучаются вопросы обработки больших объёмов информации, электромагнитного взаимодействия устройств, иерархического управления, конструирования, программирования.

Сейчас образовательная программа курса рассчитана на студентов бакалавриата 2–3-го курсов обучения. Она включает в себя теоретический модуль, практическую часть и проектную работу. Теоретический модуль содержит темы, связанные с изучением элементной базы, технологий беспроводной связи, радиочастотных сетей LoRa, а также с программированием микроконтроллеров.

Для изучения курса создаётся лаборатория, оснащённая современным компьютерным, измерительным и отладочным обо-



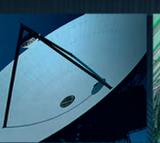
Высокопроизводительное PXI/PXIe-оборудование ADLINK для тестирования и измерений



PXIe-контроллеры



HDMI-модули видеозахвата



Высокоскоростные модули АЦП



Модули сбора данных



Коммутаторы



PXI Express-шасси

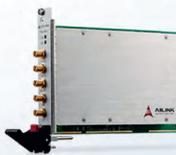



PXI Express-платформа



PXES-2590+PXIe-3985
3U, полностью гибридное 9-слотовое шасси, PXIe-контроллер с процессором Intel Core i7

Высокоскоростной модуль АЦП



PXIe-9852
2 канала аналогового ввода, частота опроса 200 МГц, разрешение 14 бит, встроенная память 1 Гбайт

18-слотовое 3U PXI Express-шасси



PXES-2780
10 гибридных и 6 PXI Express-слотов, системная пропускная способность до 8 Гбайт/с

HDMI-модули видеоаудиозахвата



PXIe-HDV62A
Одноканальный модуль видеоаудиозахвата высокого разрешения



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР
(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



Роскомнадзор

дованием, позволяющим проводить научно-исследовательскую работу.

Южно-Уральский государственный университет.

Направление индустриального Интернета вещей начало формироваться в ЮУрГУ с момента создания собственного образовательного стандарта и реализации образовательного профиля «Информационно-измерительная техника и технологии в промышленности» в сотрудничестве с международной корпорацией Emerson Process Management (США) в 2012 году.

Студенты получают данные по отдельным аспектам Интернета вещей, таким как «умный» дом, «умная» промышленность и «умный» город. Студенты ВШ ЭКН ЮУрГУ изучают технологии Интернета вещей на базе открытых решений и продуктов Intel, Rpi и Espressif System.

Основными аспектами, которые изучают студенты, на этом этапе являются разработка архитектуры и топологии системы IoT в зависимости от поставленной задачи; подбор необходимых аппаратных решений под разработанную архитектуру; программирование внутрисистемных интерфейсов (I²C, SPI, RS-485, UART) контроллеров на взаимодействие с внешними устройствами; организация взаимодействия с различными платформами IoT путём настройки функций контроллера; написание пользовательских приложений для управления построенной системой IoT.

В рамках ВШ ЭКН ЮУрГУ в сентябре 2018 года будет открыта IoT Академия Samsung. Студенты будут изучать реальные индустриальные кейсы по внедрению технологий Интернета вещей в 1-м семестре и созданию прототипов IoT устройств во 2-м. Практическая работа является основой всего курса.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

Образовательная программа предусматривает общенаучную подготовку обучающихся не только в части развития их технических компетенций, но и в части логики в решении избирательных задач с использованием современных достижений науки и техники.

На практических занятиях и в ходе лабораторных работ студентам предстоит освоить методы проектирования модульной структуры и разработки алгоритмов, выполнить реальные кейсы по внедрению технологий Интернета вещей в индустриальные стенды, разработать настоящий прототип IoT-устройства для бытового применения.

Одним из основных аспектов настоящей программы является изучение подходов по организации безопасного функционирования инфраструктуры Интернета вещей.

Санкт-Петербургский государственный университет.

Направление IoT присутствует в нескольких образовательных программах Санкт-Петербургского государственного университета. При этом часть курсов рассчитана на широкую аудиторию и доступна всем студентам программы, а часть носит специализированный характер и рассчитана в основном на обучающихся по профилю «Компьютерные науки и искусственный интеллект», которые в рамках специализированных семи-

наров изучают также основы сетевых технологий и криптографии. Некоторые аспекты изучаются в рамках профиля «Сложные системы» и программы магистратуры «Сложные системы в природе и обществе».

Кроме того, с 2016 года направление IoT (дисциплина «Умные города») представлено в магистерских программах «Менеджмент» и «Государственный менеджмент», а также в новой программе «Бизнес-аналитика и большие данные».

Новости Интернета вещей



Магнитоэлектрики MICROMETALS

Применение сердечников Micrometals гарантирует:

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



PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



ПРОЧИТАЙТЕ

Применение автоматного программирования и верификатора Spin для решения задачи управления пневмоподвеской автомобиля

Максим Неизвестных (neiz_max@mail.ru)

Одной из важных технологий программной инженерии является верификация программ методом model checking. Отличительная особенность данного метода – способность доказывать наличие или отсутствие заданного свойства у системы. В статье демонстрируется применение связки двух технологий: автоматного программирования и верификации программ методом model checking для решения задачи управления пневмоподвеской автомобиля.

Принцип работы пневмоподвески автомобиля

Пневматическая подвеска предназначена для регулировки дорожного просвета и ходовых характеристик автомобиля. Схема пневмосистемы автомобиля представлена на рисунке 1. У каждого колеса установлена пневмостойка. При накачивании воздуха в подушку пневмостойка удлиняется, при стравливании воздуха – укорачивается. Изменение размера пневмостойки приводит к изменению положения (высоты) кузова относительно колеса и дороги. Каждая пневмостойка имеет впускной (V_{in}) и выпускной (V_{out}) клапаны. Впускные клапаны предназначены для подачи воздуха к пневмостойкам и соединяют их с магистралью давления. Выпускные клапаны предназначены для стравливания воздуха

из пневмостоек и соединяют их с магистралью сброса. Магистраль давления соединена с ресивером. Воздух в ресивер накачивается электрическим компрессором. Забираемый из атмосферы воздух подвергается предварительной фильтрации.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОПОДВЕСКОЙ АВТОМОБИЛЯ

Система управления пневмоподвеской автомобиля является встраиваемой системой, к которой предъявляются серьезные требования по безопасности. Блок управления пневмоподвеской (см. рис. 1) содержит модуль микроконтроллера (МК) и релейный модуль, который предназначен для коммутации силовой нагрузки. Модуль МК с помощью CAN-шины подключён к другим электронным системам для полу-

чения команд управления и величины скорости движения, а также для передачи прочей диагностической информации.

Модуль МК опрашивает ряд датчиков с аналоговыми и дискретными выходами. На ресивере установлен датчик давления (PE) с аналоговым выходом 4...20 мА. Перед каждой пневмостойкой установлен датчик давления (PE1...PE4) для постоянного контроля давления непосредственно в подушке. Для контроля фактического положения кузова у каждого колеса установлен датчик положения (ZE1...ZE4), имеющий соединение с колесом посредством кривошипно-шатунного механизма. Контроль температуры компрессора осуществляется с помощью датчика температуры (TE). При высоком токе двигателя компрессора (M) срабатывает реле максимального тока (ISA), дискретный сигнал с которого поступает на модуль МК. При засорении фильтра воздуха срабатывает датчик засорения фильтра (PDSA), дискретный сигнал с которого также поступает на модуль МК. На основании всей полученной информации модуль МК через релейный модуль управляет компрессором и клапанами с электромагнитным приводом.

Пневмоподвеска может работать как в ручном, так и в автоматическом режимах. В автоматическом режиме давление ресивера поддерживается в заданных пределах, уровень кузова – согласно заданному профилю, независимо от массы и распределения груза по кузову автомобиля.

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Автоматное программирование (АП) подразумевает разработку программы с применением автоматов, т.е. алгоритм проектируется как конечный автомат (КА). КА – это строго определённый математический объект [1]. В упрощённом представлении КА имеет входы, выходы, внутренние состояния, переходы между состояниями и действия, связанные с состояниями и переходами. Все компоненты, состав-

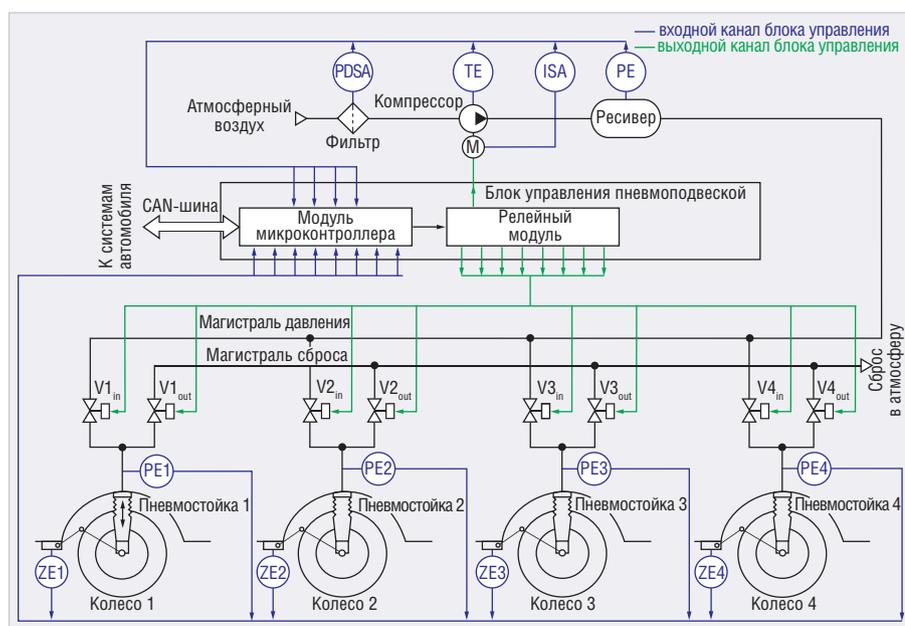


Рис. 1. Схема пневмосистемы автомобиля

Компоненты программной системы логического управления

Компонент	Назначение
AtmHead	Управление работой всех компонентов системы
AtmMode	Переключение режимов работы пневмосистемы
AtmProfile	Переключение профиля
AtmPos1...4	Управление положением кузова у пневмостойки 1...4
AtmV1in... AtmV4in	Управление впускным клапаном 1...4
AtmV1out... AtmV4out	Управление выпускным клапаном 1...4
AtmMov1...4	Детектирование движения пневмостойки 1...4
AtmDiag1...4	Обнаружение неполадок пневмостойки 1...4
AtmCalibr	Калибровка датчиков положения кузова
AtmPres	Управление давлением ресивера
AtmDiagKompr	Обнаружение неполадок компрессора
AtmNet	Сетевое взаимодействие

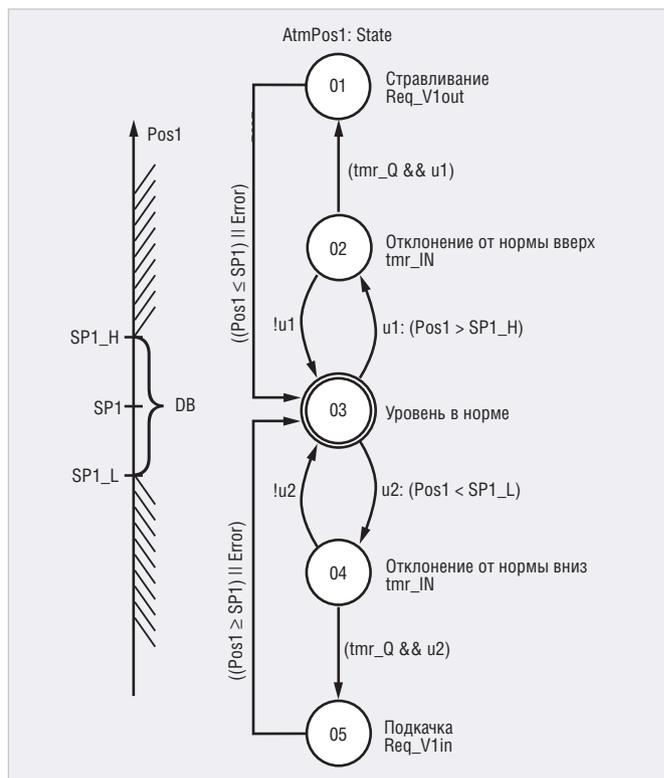


Рис. 2. Граф переходов автомата AtmPos1

ляющие КА, конечны. В общем случае любой КА работает следующим образом. На основании полученного входного сигнала и внутреннего состояния автомат переходит в новое состояние и совершает действия, связанные с этим переходом и новым состоянием. Действия оказывают влияние на выходные сигналы. Таким образом, с помощью КА можно описать сколь угодно сложную систему, где выходы являются реакцией на входы с учётом предыстории входных сигналов. Автомат, описывающий сложную реагирующую систему, также может оказаться громоздким и сложным объектом. В этом случае реагирующую систему описывают совокупностью взаимодействующих более простых автоматов. При этом автоматы можно рассматривать как параллельно работающие процессы [2], что является удобной и естественной для программных систем интерпретацией.

Автомат удобно представлять в виде графа переходов. Граф переходов автомата содержит всю необходимую для понимания его работы информацию. Первыми работами в области АП задач логического управления были публикации [3, 4]. Технология АП позволяет повысить безопасность разрабатываемого программного обеспечения для систем управления [5, 6].

Автоматная реализация компонентов

Задача логического управления пневмоподвеской разбита на несколько подзадач. Для выполнения каждой из них отводится свой компонент, имеющий автоматную реализацию (см. табл.).

Рассмотрим автоматную реализацию компонента AtmPos1. Граф переходов автомата изображён на рисунке 2. На приведённом рисунке использованы следующие условные обозначения:

- Pos1 – фактическое положение кузова у пневмостойки 1;
- SP1 – заданное положение кузова у пневмостойки 1;
- SP1_H – верхнее допустимое отклонение кузова у пневмостойки 1;
- SP1_L – нижнее допустимое отклонение кузова у пневмостойки 1;
- DB – зона нечувствительности;
- Sate – состояние автомата;
- Error – ошибка работы пневмостойки или клапана;
- Req_V1out – запрос открытия клапана V1_{out};
- Req_V1in – запрос открытия клапана V1_{in};
- tmr – таймер задержки реакции на отклонение кузова;
- tmr_IN – сигнал запуска таймера (вход таймера);
- tmr_Q – сигнал срабатывания таймера (выход таймера).

Автомат AtmPos1 имеет пять состояний: 01 – стравливание, 02 – отклонение от нормы вверх, 03 – уровень в норме, 04 – отклонение от нормы вниз, 05 – подкачка. Номер состояния автомата AtmPos1 хранится в переменной State. Состояние 03 является стартовым (обозначено двумя окружностями). Если фактическое и заданное положения кузова отличаются незначительно, т.е. значение Pos1 находится в зоне нечувствительности DB, то автомат продолжает оставаться в состоянии 03. Если выполняется условие $u1 (Pos1 > SP1_H)$, т.е. произошло отклонение вверх, то автомат переходит в состояние 02, при этом запускается таймер задержки реакции на отклонение кузова (tmr_IN). Если до момента срабатывания таймера tmr условие $u1$ перестало выполняться, т.е. кузов вернулся в нормальное положение, то автомат возвращается в состояние 03 и таймер tmr прекращает работу. Если же время истекло (сработал выход таймера tmr_Q) и условие $u1$ продолжает сохраняться, то автомат переходит в состояние 01 и устанавливает запрос на открытие выпускного клапана (Req_V1out). Автомат AtmV1out обрабатывает данный запрос и открывает клапан. После открытия выпускного клапана кузов начинает снижаться. Когда положение кузова достигает заданного значения ($Pos1 \leq SP1$) или происхо-

Листинг 1

```

//Работа автомата AtmPos1
void AtmPos1()
{
    //условия переходов автомата:
    tr_03_02 = (Pos1 > SP1_H);
    tr_02_03 = !tr_03_02;
    tr_02_01 = (tmr_Q && tr_03_02);
    tr_01_03 = ((Pos1 <= SP1) || (Error));
    tr_03_04 = (Pos1 < SP1_L);
    tr_04_03 = !tr_03_04;
    tr_04_05 = (tmr_Q && tr_03_04);
    tr_05_03 = ((Pos1 >= SP1) || (Error));
    //переходы автомата:
    switch (State)
    {
        case 1:
            if (tr_01_03) State = 3;
            break;
        case 2:
            if (tr_02_03) State = 3;
            else
            if (tr_02_01) State = 1;
            break;
        case 3:
            if (tr_03_02) State = 2;
            else
            if (tr_03_04) State = 4;
            break;
        case 4:
            if (tr_04_03) State = 3;
            else
            if (tr_04_05) State = 5;
            break;
        case 5:
            if (tr_05_03) State = 3;
            break;
    }
    //выходы автомата:
    if (State == 1) Req_V1out = true;
    else Req_V1out = false;
    if ((State == 2) || (State == 4)) tmr_IN = true;
    else tmr_IN = false;
    if (State == 5) Req_V1in = true;
    else Req_V1in = false;
}

```

дит ошибка (Error), автомат переходит в состояние 03 и снимает запрос Req_V1out. Автомат AtmV1out обрабатывает запрос и закрывает клапан, после чего фактическое положение кузова фиксируется на заданном уровне. Аналогично обрабатывается и отклонение кузова вниз. Таким образом, работа автомата AtmPos1 стабилизирует положение кузова у пневмостойки 1. Условия переходов автомата должны быть выстроены так, чтобы из одного состояния не выходило более одной дуги с истинным условием (свойство детерминированности автомата), иначе будет неясно, в какое из состояний следует переходить.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТОВ

Программа для микроконтроллера AVR реализована на языке программирования C. Рассмотрим фрагмент кода программы, отражающий работу автомата AtmPos1 (см. листинг 1).

Состояние автомата определяется управляющей переменной State [6]. Для переключения состояний автомата используется инструкция выбора switch [3, 4]. Запрос открытия выпускного клапана (Req_V1out) устанавливается только в состоянии 01, запрос открытия впускного клапана (Req_V1in) – только в состоянии 05.

Таймер работает, если автомат находится либо во 2-м, либо в 4-м состоянии.

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ МЕТОДОМ MODEL CHECKING

Верификация представляет собой проверку соответствия программы установленным требованиям [7]. Тестирование является одним из методов проверки, однако оно позволяет лишь найти ошибки, но не позволяет доказать их отсутствие. Метод model checking (англ. – проверка модели) является формальным методом верификации, который построен с использованием строгого математического аппарата. Данный метод позволяет доказывать отсутствие ошибок, а именно нежелательных свойств, что особенно важно для систем с повышенными требованиями к безопасности. Метод требует построения модели системы и формализации требований к ней. Под системой понимаются программа и объект управления. Совместимость автоматного программирования и верификации методом проверки модели заключается в том, что автоматная программа очень просто преобразуется в свою модель [8]. Модель объекта управления также может быть представлена в виде конечных автоматов [2]. Модель описывает

множество всех возможных поведения системы. Требования к модели должны быть выражены на формальном языке темпоральной логики (логики, учитывающей временной аспект). Высказывание данного языка описывает некоторое множество допустимых или недопустимых поведения модели. Верификатор автоматически проверяет истинность формального высказывания для данной модели, или, другими словами, выполнимость для неё темпорального свойства.

ВЕРИФИКАТОР SPIN

Spin – инструмент, предназначенный для выполнения верификации методом model checking, разработанный в Bell Labs. Данный верификатор успешно применяется в космической, авиационной, телекоммуникационной, медицинской и других отраслях [9]. Spin поддерживает два языка: язык моделирования Promela [9, 10], предназначенный для описания модели системы и LTL (Linear Temporal Logic) – язык линейной темпоральной логики [7–11], предназначенный для описания спецификаций требований к модели. Spin имеет интерфейс командной строки, в связи с чем гораздо удобнее пользоваться графической оболочкой XSpin [10].

Модель и исследуемое свойство, описанные на языках Promela и LTL соответственно, подаются на вход верификатора Spin. Верификатор автоматически осуществляет проверку выполнимости заданного свойства. Принципы работы верификаторов изложены в [7, 8, 11]. После проверки свойства Spin выдаёт один из 3 ответов:

1. Свойство выполняется.
2. Свойство не выполняется (в этом случае приводится пример поведения модели, когда свойство нарушается).
3. Недостаточно вычислительных ресурсов для верификации (т.е. необходимо упростить модель).

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ

Рассмотрим фрагменты модели системы, описанной на языке Promela, отражающие работу автомата AtmPos1.

Множество состояний автоматов определяется с помощью объявления перечислимого типа mtype:

```
mtype = { S0, S1, S2, S3, S4, S5 };
```

Объявим и инициализируем переменную для хранения состояния автомата AtmPos1:

```
mtype State = S0;
```

Объявим и инициализируем переменные для хранения условий переходов автомата *AtmPos1* (см. листинг 2).

Опишем работу автомата *AtmPos1* в отдельном файле:

```
#define AtmPos1 "D:\Spin\
PnevmoPodveska\AtmPos1.pml"
```

Первая часть файла *AtmPos1.pml* определяет условия переходов автомата (см. листинг 3).

Вторая часть файла *AtmPos1.pml* определяет переключения состояний автомата (см. листинг 4).

Переключения автомата моделируются с помощью оператора ветвления. Между ключевыми словами *if* и *fi* располагаются индикаторы начала последовательности *::*, которые указывают на альтернативные ветви последовательностей операторов. Если автомат находится в нулевом состоянии, то страж (*State == S0*) выполним, остальные стражи заблокированы. За выполнимым стражем (*State == S0*) следует пустой оператор *skip*, поэтому происходит выход из оператора ветвления без какого-либо действия. Если автомат находится в 1-м состоянии, то страж (*State == S1*) выполним, остальные стражи заблокированы. За выполнимым стражем (*State == S1*) следует оператор ветвления *if*. Если условие перехода из состояния *S1* в состояние *S3* истинно, то страж (*tr_01_03*) выполним, поэтому за ним выполняется оператор присваивания *State = S3*. На этом последовательность операторов заканчивается и происходит выход из 2-го, а затем и из 1-го операторов ветвления. Если во время выполнения страж (*tr_01_03*) заблокирован, то происходит выполнение альтернативной ветви *else* с пустым оператором *skip* и переключения состояния автомата не происходит.

Третья часть файла *AtmPos1.pml* определяет действия автомата в состояниях (см. листинг 5).

Периодический запуск работы автомата *AtmPos1* будет производиться из процесса с названием *model* (см. листинг 6):

Процесс работает в бесконечном цикле *do*, внутри которого атомарно (ключевое слово *atomic*) запускаются все автоматы модели, в том числе и автомат *AtmPos1*. Атомарность выполнения действий автоматов говорит о том, что верификатор не будет рассматривать их промежуточные вычисления.

Недетерминированность входных сигналов моделируется следующим образом:

```
if
:: PEmax = true
:: PEmax = false
fi;
```

Оператор ветвления используется без стражей. В этом случае обе ветви выполняемы, поэтому верификатор недетерминированным образом выбирает любую из них. Данная конструкция позволяет на любой итерации работы модели установить предельно высокое давление ресивера.

СПЕЦИФИКАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ

Спецификация требований – набор формализованных требований, подлежащих проверке на модели. Рассмотрим формализацию нескольких требований (свойств).

Ограниченность работы компрессора по времени, ϕ_1 . Всегда, если компрессор включился, то рано или поздно он выключится:

```
LTL:  $\square (Kompr \rightarrow (\diamond \neg Kompr))$ ,
```

где \square – темпоральный оператор «всегда», \diamond – темпоральный оператор «рано или поздно», \rightarrow – импликация (если..., то...), \neg – логическое отрицание («не»), *Kompr* – бит включения компрессора.

Бесперебойность работы компрессора до набора давления, ϕ_2 . Всегда, если компрессор включился, то он будет работать без отключений до тех пор, пока не нормализует давление в ресивере:

```
LTL:  $\square (Kompr \rightarrow (Kompr \cup PE_{sp}))$ ,
```

где \cup – темпоральный оператор «до тех пор, пока», *PE_{sp}* – фактическое давление ресивера не ниже заданного.

Соблюдение блокировок работы компрессора, ϕ_3 . Всегда, если компрессор работает, то температура компрессора, ток компрессора, давление ресивера в норме и фильтр воздуха не засорён:

```
LTL:  $\square (Kompr \rightarrow ((\neg TE_{max}) \wedge (\neg ISA) \wedge (\neg PE_{max}) \wedge (\neg PDSA)))$ ,
```

где \wedge – конъюнкция (логическое «и»), *TE_{max}* – температура компрессора выше установленного предела, *ISA* – ток двигателя компрессора выше установленного предела, *PE_{max}* – давление ресивера выше установленного предела, *PDSA* – фильтр воздуха засорён.

Работа впускных клапанов при достаточном давлении ресивера, ϕ_4 . Выполнение этого требования контролируется для того, чтобы избежать перетока воздуха из пневмостоек в ресивер и, как следствие, опускания кузова автомобиля. Всегда, если хоть один впускной клапан открыт, то давление ресивера не ниже установленного минимума:

```
Листинг 2
bool tr_03_02 = false;
bool tr_02_03 = false;
bool tr_02_01 = false;
bool tr_01_03 = false;
bool tr_03_04 = false;
bool tr_04_03 = false;
bool tr_04_05 = false;
bool tr_05_03 = false;
```

```
Листинг 3
tr_03_02 = (Pos1 > SP1_H);
tr_02_03 = !tr_03_02;
tr_02_01 = tmr_Q;
tr_01_03 = ((Pos1 <= SP1) || (Error));
tr_03_04 = (Pos1 < SP1_L);
tr_04_03 = !tr_03_04;
tr_04_05 = tmr_Q;
tr_05_03 = ((Pos1 >= SP1) || (Error));
```

```
Листинг 4
if
:: (State == S0) -> skip
:: (State == S1) ->
  if
  :: (tr_01_03) -> State = S3
  :: else skip
  fi
:: (State == S2) ->
  if
  :: (tr_02_03) -> State = S3
  :: (tr_02_01) -> State = S1
  :: else skip
  fi
:: (State == S3) ->
  if
  :: (tr_03_02) -> State = S2
  :: (tr_03_04) -> State = S4
  :: else skip
  fi
:: (State == S4) ->
  if
  :: (tr_04_03) -> State = S3
  :: (tr_04_05) -> State = S5
  :: else skip
  fi
:: (State == S5) ->
  if
  :: (tr_05_03) -> State = S3
  :: else skip
  fi
fi;
```

```
Листинг 5
if
:: (State == S1) -> Req_Vlout = true
:: else Req_Vlout = false
fi;
if
:: ((State == S2) || (State == S4))
-> tmr_IN = true
:: else tmr_IN = false
fi;
if
:: (State == S5) -> Req_Vlin = true
:: else Req_Vlin = false
fi;
```

```
Листинг 6
active proctype model()
{
  do
  :: atomic {
  ...
  #include AtmPos1
  ...
  }
  od
}
```

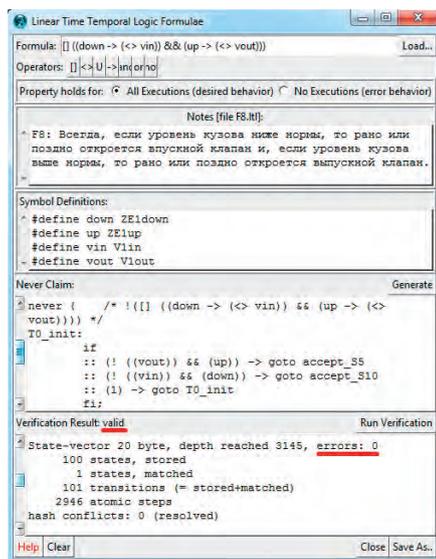


Рис. 3. Проверка свойства ϕ_8 в верификаторе Spin

LTL: $\square ((V1in \vee V2in \vee V3in \vee V4in) \rightarrow (\neg PEmin))$,

где \vee – дизъюнкция (логическое «или»), $V1in$ – бит включения электромагнита впускного клапана пневмостойки 1, $PEmin$ – давление ресивера ниже минимального предела.

Взаимоблокировка впускного и выпускного клапанов, ϕ_5 . Никогда впускной и выпускной клапаны не открыты одновременно:

LTL: $\square \neg (V1in \wedge V1out)$,

где $V1out$ – бит включения электромагнита выпускного клапана пневмостойки 1.

Ограниченность работы впускного клапана по времени, ϕ_6 . Всегда, если впускной клапан открылся, то рано или поздно он закроется:

LTL: $\square (V1in \rightarrow (\diamond \neg V1in))$.

Постоянство действия автоматической защиты от разрыва подушки пневмостойки с помощью сброса давления, ϕ_7 . Всегда, если давление в пневмостойке аварийно высокое, то впускной клапан закрыт, а выпускной клапан открыт:

LTL: $\square (PE1max \rightarrow (\neg V1in \wedge V1out))$,

где $PE1max$ – давление пневмостойки 1 выше установленного предела.

Наличие отклика системы управления на отклонения уровня кузова, ϕ_8 . Всегда, если уровень кузова ниже нормы, то рано или поздно откроется впускной клапан и если уровень кузова выше нормы, то рано или поздно откроется выпускной клапан:

LTL: $\square ((ZE1down \rightarrow (\diamond V1in)) \wedge (ZE1up \rightarrow (\diamond V1out)))$,

где $ZE1down$ – отклонение вниз положения кузова у пневмостойки 1, $ZE1up$ –

отклонение вверх положения кузова у пневмостойки 1.

Запрет подъёма кузова на высокой скорости, ϕ_9 . Всегда, если фактическая скорость автомобиля выше заданной, то все впускные клапаны закрыты:

LTL: $\square (SEmax \rightarrow (\neg V1in \wedge \neg V2in \wedge \neg V3in \wedge \neg V4in))$,

где $SEmax$ – скорость автомобиля выше установленного предела.

Свойства ϕ_7 и ϕ_9 непосредственно влияют на безопасность работы системы и движения автомобиля.

ВЕРИФИКАЦИЯ

Выполним проверку свойства ϕ_8 из спецификации требований (см. рис. 3). Для этого в XSpin необходимо открыть вкладку *Run* → *LTL Property manager* [10]. В поле *Formula* введём LTL-формулу, которую необходимо проверить. В поле *Property holds for* выберем *All Executions*, что означает проверку выполнимости формулы на всех вычислениях. Свойство ϕ_8 является желаемым и должно выполняться на всех возможных вычислениях. В поле *Symbol Definitions* определяются атомарные высказывания LTL-формулы. Процесс верификации запускается нажатием кнопки *Run Verification*. В результате в поле *Verification Result* будет выведено *valid*, что означает выполнимость формулы. Здесь же отображается количество обнаруженных ошибок (*errors* 0). Остальные свойства спецификации также выполнимы. При проверке свойства ϕ_8 должны быть установлены следующие параметры моделируемой системы: автоматический режим всегда включён, нештатные ситуации всегда отсутствуют; а, например, при проверке свойства ϕ_3 – наоборот, нештатные ситуации *TEmax*, *ISA*, *PEmax*, *PDSA* могут устанавливаться недетерминированным образом, что позволит корректно проверить работу блокировок компрессора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описан процесс разработки алгоритма управления пневмоподвеской автомобиля с применением автоматного подхода. Декомпозиция задачи управления позволила рассматривать программу как систему взаимодействующих автоматов. На основе разработанной системы автоматов выполнено построение модели на языке Promela и программы на языке C. Согласно требованиям к разрабатываемой системе

создана спецификация требований на языке LTL. На завершающем этапе проведена верификация системы методом *model checking*.

АП позволяет систематизировать логику работы программы, избежать множества ошибок, а также облегчает сам процесс разработки, т.к. графы переходов легче понимать и анализировать, чем программный код. Таким образом, использование АП упрощает моделирование и программирование системы.

Верификация программ методом *model checking* позволяет находить редкие критические ошибки, которые могли быть пропущены при тестировании. Совместное применение технологии АП и верификации методом *model checking* снижает количество ошибок в программах и повышает надёжность и безопасность встраиваемых систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карнов Ю.Г. Теория автоматов: учебник для вузов. – СПб: ИД ПИТЕР, 2003. – 208 с.
2. Зюбин В.Е. Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов: учеб.-метод. Пособие – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т., 2006. – 96 с.
3. Шальто А.А. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. – СПб: СПбГУ ИТМО, 1998. – 56 с.
4. Шальто А.А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. – СПб: Наука, 1998. – 628 с.
5. Шальто А.А. Автоматное проектирование программ. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. Известия РАН. Теория и системы управления. 2000. № 6. С. 63–81.
6. Шальто А., Тужель Н. Программирование с явным выделением состояний. Мир ПК 2001. № 8. С. 116–121. № 9. С. 132–138.
7. Карнов Ю.Г. MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределённых программных систем. – СПб: БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.
8. Вельдер С.Э., Лукин М.А., Шальто А.А., Яминов Б.Р. Верификация автоматных программ. – СПб: Наука, 2011. – 244 с.
9. www.spinroot.com
10. Шошмина И.В., Карнов Ю.Г. Введение в язык Promela и систему комплексной верификации Spin: учебное пособие. – СПб: СПбГПУ, 2009. – 66 с.
11. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: Model Checking. – М.: МЦНМО, 2002. – 416 с.



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ



ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки

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



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

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

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

Преимущества программы PSpice при моделировании аналого-цифровых схем

Александр Акулин (akulin@pcbsoft.ru)

При выборе программного обеспечения разработчики в первую очередь ориентируются на его доступность и стоимость, затем на простоту освоения и уже в последнюю очередь – на предоставляемые возможности. Эти критерии определяют и выбор системы для схемотехнического моделирования, о чём речь пойдёт в данной статье.

Многие разработчики-схемотехники отдают предпочтение бесплатным и простым симуляторам, т.к. не могут или не желают тратить много времени и средств на освоение программ, имеющих богатую функциональность и «слишком сложный» интерфейс пользователя. Некоторые разработчики вообще предпочитают не заниматься моделированием, а проверять работу схемных решений другими, «кустарными» способами. Такие подходы приводят к обратному эффекту – потере темпа, снижению эффективности процесса разработки новых изделий, необоснованному выпуску многочисленных образцов и прототипов и большим затратам времени на доводку и пусконаладку новых электронных устройств и приборов.

При использовании простых бесплатных систем проектирования и моделирования электронных устройств довольно быстро становится понятно, что их функциональность позволяет решать только ограниченный набор самых простых задач. Если такого набора возможностей достаточно на начальном этапе, то при попытке выйти на более высокий уровень анализа сложных проек-

тов бесплатные программы в полной мере демонстрируют все свои недостатки. Вследствие этого неизбежны проблемы, связанные как со сроками, так и с общими финансовыми затратами на разработку. Если же вообще отказаться от моделирования и ограничиться проверкой схем полукустарными методами, то возникает целый ряд вопросов: как в такой ситуации обеспечить заданные параметры схемы, не занимаясь длительной инженерной работой по подбору номиналов; как проверить поведение схемы при различных вариациях номиналов компонентов в пределах допуска; как учесть влияние нагрева; как проимитировать различные виды входных воздействий или проверить работу тех компонентов, которые ещё не закуплены? Ответ состоит в том, что, как правило, всё это невозможно реализовать без использования профессиональных схемотехнических симуляторов, среди которых лидирующее положение занимает PSpice.

Далее будут более подробно рассмотрены возможности, предоставляемые PSpice, в сравнении с бесплатными программами (см. табл.).

Доступность моделей компонентов.

Если в бесплатных программах есть только встроенные неуниверсальные модели, то в PSpice имеются полностью совместимые модели, доступные на сайтах большинства производителей ЭРИ.

Наличие библиотеки моделей. В бесплатных программах присутствует не более 2–3 тыс. моделей, тогда как с дистрибутивом PSpice разработчик получает 35 тыс. проверенных и настроенных моделей.

Поддержка различных типов компонентов в моделировании. В PSpice имеется возможность моделировать такие дополнительные типы компонентов, как:

- расширенные виды магнитных компонентов;
- IGBT-транзисторы;
- полноценные цифровые компоненты;
- ОЗУ/ПЗУ;
- модели GaAsFET – ТОМ-2 и ТОМ-3;
- согласованные линии передачи;
- модели магнитных сердечников.

Настройка и обеспечение сходимости вычислений. Несмотря на то что в большинстве программ применяются схожие ядра солверов, в PSpice достигается лучшая сходимость вычислений при помощи инструмента автоматизированной диагностики и решения проблем сходимости, а также за счёт большого набора настроек алгоритма.

Управление процессом моделирования. В PSpice в процессе моделирования возможно остановить вычис-

Сравнение возможностей PSpice и бесплатных симуляторов

Функциональные возможности	PSpice	Бесплатные симуляторы
Доступность моделей компонентов	Да, на сайтах большинства производителей	Слабая
Наличие библиотеки моделей	33 тыс. моделей	От 3 до 5 тыс. моделей
Поддержка различных типов компонентов в моделировании	Да, исчерпывающий набор типов компонентов	Ограниченный набор
Настройка и обеспечение сходимости вычислений	Да, удобные и полные	Слабые, частые проблемы сходимости
Управление процессом моделирования	Да, с возможностью остановки и запуска	Слабое
Удобный просмотр и анализ результатов моделирования	Да	Ограниченно
Кодирование моделей	Да	Нет
Моделирование смешанных аналого-цифровых схем	Да	Как правило, нет
Утилиты для разработки моделей	Да	Нет
Удобный ввод схем и интеграция с САПР печатных плат	Да	Обычно ограниченный редактор схем
Повторное использование наборок	Да	Сложно
Возможности системного проектирования	Да	Обычно нет
Перенастройка старых схем под новые задачи	Да	Слабо
Анализ чувствительности схемы к номиналам компонентов	Да	Сложен
Анализ наихудших ситуаций	Да	Ограничен
Разработка высокоуровневых SPICE-моделей	Да	Нет
Анализ перегруженных компонентов	Да	Сложен
Моделирование теплоотвода	Да	Сложно
Анализ влияния разброса номиналов на работоспособность схемы	Да	Ограничен
Дополнительные ресурсы	Интерактивный учебник	Нет
Поддержка и обучение	Да, на русском языке	Слабые

ления, продолжить с той же точки, настроить точку остановки. Кроме того, можно выбирать между более высокой точностью или скоростью вычислений. Интересной возможностью является функция добавления проверок, позволяющих остановить вычисления в случае обнаружения определённой комбинации условий. Также пользователю доступен менеджер симуляций, который помогает запланировать и запустить набор последовательных симуляций.

Удобный просмотр и анализ результатов моделирования (см. рис. 1). В PSpice, в отличие от бесплатных программ, имеются широкие возможности обработки результатов моделирования:

- настройки осей графиков;
- множественные трассы на одном графике;
- расстановка текстовых меток;
- анализ характеристик схемы;
- построение гистограмм;
- автовыполнение измерений на графиках;
- выполнение измерений по данным;
- курсоры на множественных графиках;
- создание входных воздействий из результатов моделирования;
- построение кривых ВЧ;
- вычисление потерь в сердечниках с гистерезисом;
- сравнение результатов нескольких симуляций на одном графике;
- считывание данных с осциллографа;
- возможность представления результатов вычислений на схеме;
- поддержка языка программирования TCL.

Кодирование моделей. В PSpice поддерживается не только базовый вариант кодирования SPICE-моделей, но и такие стандарты, как AES, DES, а также индивидуальное кодирование на основе ключа. Это даёт возможность производителям компонентов защищать от копирования внутреннее устройство микросхем, но при этом предоставлять заказчикам качественные модели. А предприятиям, использующим библиотеки проверенных моделей для симуляции, это позволяет предотвратить модификацию моделей неавторизованными сотрудниками.

Моделирование смешанных аналого-цифровых схем. PSpice, в отличие от бесплатных аналогов, имеет широкие возможности моделирования не только аналоговых, но и цифровых схем:

- симулятор на основе событий;
- возможность моделирования длительностей фронтов в цифровых микросхемах;

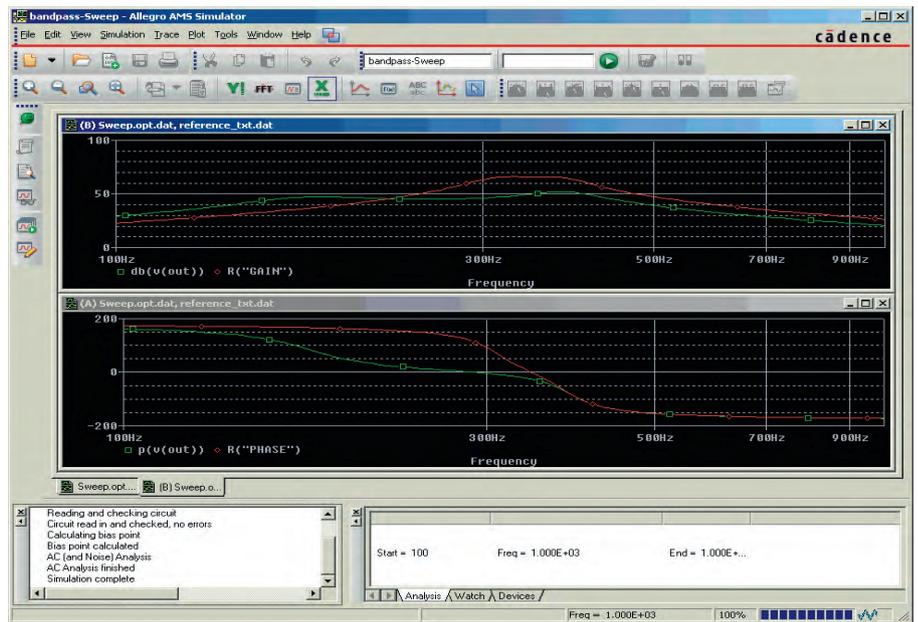


Рис. 1. Сравнение АЧХ и ФЧХ двух схем в PSpice до и после автоматической подстройки номиналов

- возможность моделирования характеристик входов/выходов цифровых микросхем;
- симуляция ПЛИМ-матриц;
- симуляция микросхем памяти;
- микросхемы с третьим состоянием выхода;
- цифровые входные воздействия;
- логические выражения в качестве моделей цифровых каскадов;
- задержка от входа до выхода;
- правила и ограничения;
- срабатывание по фронту или по уровню;
- время предустановки и удержания;
- автоматическая вставка преобразования AtoD и DtoA между аналоговыми и цифровыми цепями.

Утилиты для разработки моделей. После установки PSpice пользователи получают, помимо симулятора, ещё и набор утилит для редактирования и создания моделей компонентов:

- Model Editor позволяет редактировать имеющиеся модели или создавать новые;
- Modelling Apps позволяют создавать модели различных видов компонентов на основании кривых из справочных листов или измерений параметров компонента;
- Stimulus Editor облегчает создание файлов входных воздействий;
- Magnetic Editor предоставляет функционал для создания моделей компонентов с ферромагнитными свойствами;
- библиотека моделей не только сгруппирована по категориям, но и позволяет осуществлять параметрический поиск;

- во время симуляции есть возможность создания отчётов, содержащих все параметры используемых моделей.

Удобный ввод схем и интеграция с САПР печатных плат. За счёт интеграции с популярным схемным редактором OrCAD Capture программа PSpice позволяет использовать многослойные схемы, при этом выполнять моделирование можно селективно, выделяя требуемые участки схемы. Это предоставляет уникальную возможность проверять качество реальных схем без необходимости ручного копирования из САПР в симулятор и обратно, что может быть сопряжено с ошибками.

В PSpice встроен удобный механизм создания схемных символов прямо из SPICE-модели, что обеспечивает корректность и возможность проверки цоколёвки компонента на схеме.

Интеграция с САПР OrCAD распространяется и на инструменты редактирования топологии печатных плат, а также инструменты анализа целостности сигналов.

За счёт встроенной в схемный редактор Capture системы управления базой компонентов CIS пользователи получают универсальное решение для управления библиотекой компонентов: схемных символов, футпринтов, SPICE-моделей, 3D-моделей, справочных листов и другой информации.

Удобство повторного использования наработок. Пользователи могут использовать схемы повторно для создания новых устройств, копируя как отдельные листы, так и части схемы, при этом имея возможность их кор-

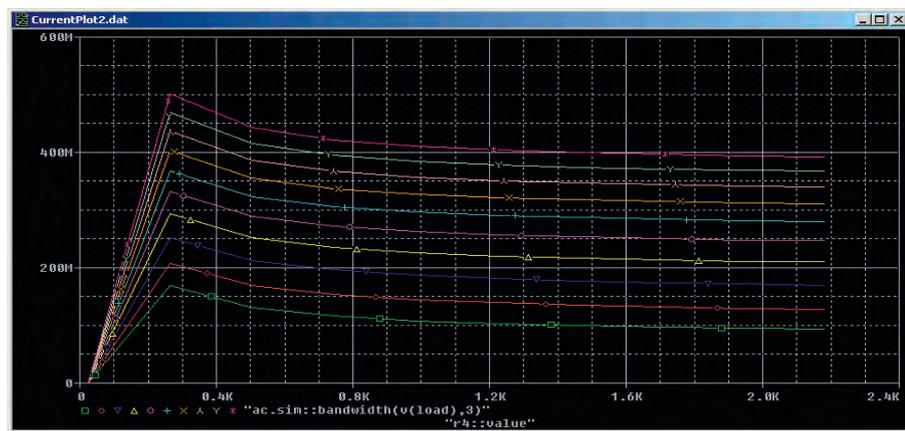


Рис. 2. Пример анализа работоспособности схемы при варьировании номиналов компонентов в PSpice

ректировки и оптимизации под новые задачи с помощью PSpice.

Возможности системного проектирования. Интеграция PSpice и Matlab/Simulink даёт системным разработчикам возможность полноценно верифицировать свои решения на системном уровне с учётом реально выбранных электрических схем, убедиться в пригодности схемотехники для выполнения поставленных задач, полностью промоделировать любую электромеханическую систему.

Перенастройка старых схем под новые задачи. В PSpice, в отличие от других симуляторов, с помощью инструментов расширенного анализа пользователи могут автоматически выполнить перенастройку схемы под новые требования, например под другие частотные диапазоны, изменённый коэффициент усиления и т.д. Таким образом, старые наработки могут использоваться более эффективно. Более того, оптимизация схемы под новые требования может выполняться на основе заданных графиков, например АЧХ устройства.

Анализ чувствительности схемы к номиналам компонентов. В PSpice имеется уникальный инструмент, позволяющий провести анализ того, к номиналам каких компонентов схема наиболее чувствительна, с точки зрения обеспечения заданных целей (например, заданной полосы пропускания). С помощью этого инструмента можно повысить надёжность устройства, удешевить его, понять, какие компоненты требуют особого внимания.

Анализ наихудших ситуаций. С помощью расширенного анализа PSpice можно получить информацию о том, как схема будет вести себя в наихудшей ситуации, при наихудшем сочетании номиналов компонентов и температуры

окружающей среды. Это даёт предприятию возможность осуществить шаги, позволяющие повысить как надёжность устройств, так и выход исправных изделий (например, за счёт ужесточения допусков у наиболее критических компонентов), не повышая при этом себестоимость электроники. Что интересно, PSpice позволяет анализировать как аналоговые проблемы, так и проблемы цифровых задержек и гонок сигналов.

Разработка высокоуровневых SPICE-моделей. В PSpice возможно создать модель контроллера, например, описав его поведение и реакцию на те или иные состояния входов в виде программы на языке C/C++. С помощью таких моделей можно как отлаживать алгоритм управляющего контроллера, так и имитировать входные воздействия или реакцию окружающей среды на поведение выходов схемы.

Анализ перегруженных компонентов. С помощью расширенного анализа PSpice можно без каких бы то ни было доработок проверить схему на предмет наличия перегруженных компонентов. Например, если у конденсаторов есть ограничение по максимальному напряжению на выводах, система PSpice поможет обнаружить те конденсаторы, на которых это напряжение превышено или близко к пределу. Таким образом, предприятие с помощью данного инструмента обеспечит долговечность прибора, отсутствие сбоев и отказов вследствие превышения допустимых режимов эксплуатации ЭРИ, что является весьма частой и труднообнаружимой причиной отказов аппаратуры.

Моделирование теплоотвода. PSpice позволяет моделировать тепловыделение, подбирать и проверять систему теплоотвода, требуемые радиаторы, учитывать понижающие факторы

и тем самым обеспечивать работу схемы с учётом реального тепловыделения и самых жёстких окружающих условий эксплуатации.

Анализ влияния разброса номиналов на работоспособность схемы (см. рис. 2). В PSpice алгоритм Монте-Карло, позволяющий проверить работу схемы при случайном разбросе параметров, имеет гораздо больше возможностей, чем в бесплатных симуляторах. Это позволяет получить достоверные и полные результаты расчётов, которые требуются для проверки надёжности схемы в заданных ценовых рамках или для замены ЭРИ.

Дополнительные ресурсы. После установки PSpice пользователю доступен большой интерактивный учебник, в котором подробно описаны типовые схемы включения различных компонентов, их особенности с практически примерами и схемами. Каждую схему можно открыть в редакторе, запустить её моделирование в тех или иных режимах, скорректировать для достижения требуемых целей или скопировать для использования в собственных разработках.

Поддержка и обучение. Обучение работе в PSpice проводят ведущие вузы РФ и Беларуси; также ежемесячно проводятся курсы повышения квалификации. Официальный дистрибьютор компании Cadence – ООО «ПСБ СОФТ» – регулярно проводит тренинги в московском учебном классе, где можно ознакомиться с базовыми и расширенными возможностями программы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённый выше перечень преимуществ PSpice является далеко не полным, тем не менее он позволяет понять, что для предприятий, стремящихся повысить эффективность разработки и надёжность выпускаемой аппаратуры, а также снизить издержки на пусконаладочные работы, доступен очень мощный инструмент – OrCAD PSpice Designer Plus. Данный пакет программ содержит в себе редактор схем, симулятор и другие полезные инструменты, такие как PSpice Advanced Analysis. Для предприятий, желающих организовать полный и цельный цикл проектирования, интересным решением будет OrCAD Professional with PSpice – профессиональная САПР печатных плат, базирующаяся на ядре Cadence Allegro PCB Editor и позволяющая эффективно выполнять разработку самых сложных устройств.



Источники питания для монтажа на плату

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



5 Вт
AC/DC
площадь
1"×1"

Маломощные источники питания AC/DC для установки на плату



Серия ECE

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



Серия ECL

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



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

www.xppower.com/literature_downloads



GREEN+POWER



Селектор для загрузки
в мобильные устройства



20 Вт
DC/DC
площадь
1"×1"

Серии DC/DC-преобразователей в стандартном исполнении

От 1 до 3 Вт

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



От 2 до 6 Вт

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



Соответствие требованиям медицинских стандартов

- От 3 до 10 Вт
- IEC60601-1, 3-е издание
- Усиленная изоляция 4 кВ (переменный ток)
- Ток утечки на пациента 2 мкА



Драйверы для светодиодных систем освещения

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



Модели для поверхностного монтажа

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



XP XP Power



Трассировка в среде Altium Designer с помощью инструмента ActiveRoute

Алексей Якубенко (support@idstrade.com)

Самый долгий и ответственный процесс в разработке печатной платы – прокладка проводников. Несмотря на то что система правил Altium Designer в значительной мере автоматизирует контроль и исполнение таких параметров, как зазоры между элементами топологии, ширина проводников, размеры отверстий, контактных площадок и т.п., трассировка проводников остаётся в зоне ответственности именно разработчика. На фоне этого эффективность инструментов прокладки проводников играет определяющую роль в эффективности процесса разработки любой печатной платы. В данной статье рассматривается такой инструмент прокладки проводников, как ActiveRoute.

В прошлых номерах журнала [1–3] были подробно рассмотрены базовые инструменты трассировки в среде Altium Designer (AD) – интерактивная трассировка, трассировка дифференциальных пар и трассировка групп цепей. Очевидно, что AD предоставляет пользователям высокоэффективные инструменты для проклад-

ки проводников. Однако упомянутые инструменты не являются единственными доступными.

Что собой представляет ActiveRoute

Механизм *ActiveRoute* представляет собой инструмент групповой трассировки цепей. В отличие от обычных инструментов трассировки, он, по сути, приближается к автоматическим трассировщикам. Его отличают следующие ключевые аспекты:

- автоматическое построение отводов проводников от контактных площадок посадочных мест (ПМ) или переходных отверстий (ПО) и иных элементов топологии;
- высокая скорость построения проводников;
- подчинённость правилам ширины, зазоров, слоёв, топологии и комнат с учётом их приоритета;
- возможность предварительной прокладки направляющей для проводников группы цепей;
- возможность прокладки проводников группы цепей через полигоны с последующей перезаливкой последних (в случае если включена соответствующая настройка);
- поддержка как обычных цепей, так и дифференциальных пар;
- применение в автоматическом режиме мощного механизма оптимизации проводников на финальном этапе прокладки группы проводников.

Также важно понимать, что, несмотря на обилие возможностей, механизм *ActiveRoute* не является автоматическим трассировщиком.

Панель ActiveRoute

Прежде чем приступить к трассировке с помощью механизма *ActiveRoute*, необходимо запустить панель *ActiveRoute* (см. рис. 1), которая содержит все необходимые опции для работы с механизмом *ActiveRoute*. Чтобы открыть данную панель, необходимо выполнить команду *View* → *Panels* → *PCB ActiveRoute* или нажать расположенную в правом нижнем углу окна среды AD кнопку *Panels* и в раскрывшемся меню выбрать пункт *PCB ActiveRoute*.

Как видно из рисунка 1, данная панель состоит из ряда областей:

- *Action* – в данной области содержатся основные элементы управления механизмом *ActiveRoute*: запуск процесса трассировки, построение групповой направляющей, включение механизма выравнивания цепей и т.д.;
- *Layers* – в данной области можно найти элементы управления слоями;
- *Control* – содержимое данной области предназначено для управления процессом построения трасс проводников;
- *Tune* – здесь расположены элементы управления выравниванием длин цепей;
- *Pin Swap* – данная область предназначена для выбора ПМ, у которых в процессе прокладки проводников может осуществляться перестановка выводов.

Подробно эта панель будет рассмотрена далее, в процессе описания механизма *ActiveRoute*.

Трассировка с помощью механизма ActiveRoute

За счёт богатых возможностей механизма *ActiveRoute* его применение является более сложным, чем применение различных видов интерактивной трассировки. По этой причине рассматриваться данный механизм будет по принципу «от простого к сложному».

В самом простом случае для применения инструмента *ActiveRoute* необходимо совершить всего три действия:

1. Выбрать цепи для трассировки.
2. Выбрать слои, на которых должны пройти трассы.
3. Запустить команду *ActiveRoute*.

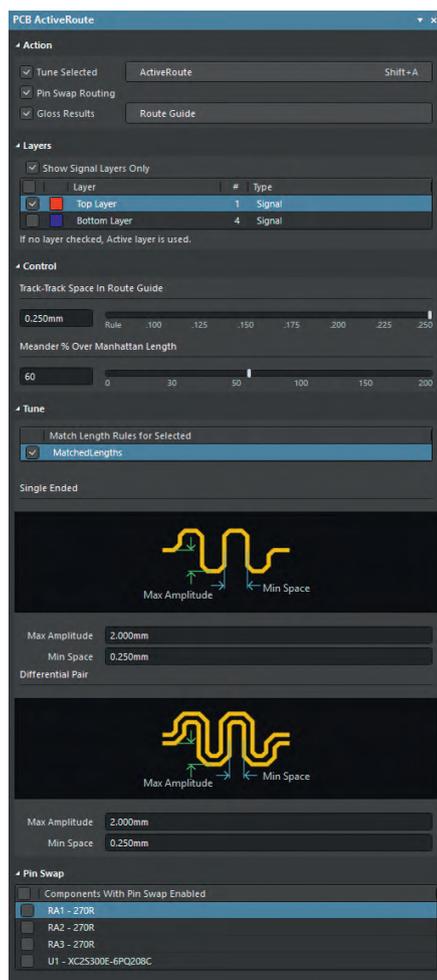


Рис. 1. Панель *ActiveRoute*

При выборе цепей для трассировки, помимо выделения непосредственно линий связи, можно выбирать элементы топологии, к которым подключены нужные цепи: сегменты проводников, ПО или контактные площадки ПМ.

Для выбора слоёв, на которых должны пройти трассы, предназначена область *Layers* панели *ActiveRoute*. Данная область представляет собой таблицу слоёв. Над списком расположен пункт *Show Signal Layers Only* – когда он выбран, в таблице отображаются только сигнальные слои. С помощью проставления соответствующей галочки можно также включить или выключить возможность прокладки проводников на каждом слое. Необходимо заметить, что *ActiveRoute* не может переводить проводники со слоя на слой через ПО, однако при необходимости данный механизм легко справляется с прокладкой проводников одновременно на нескольких слоях, например в случаях, когда при выборе цепей для трассировки были указаны элементы топологии, расположенные на разных слоях. Естественно, если были выбраны элементы топологии на слое, который в области *Layers* был выключен, то проводники соответствующих цепей проложены не будут. Если в области *Layers* не выбран ни один слой, то трассировка будет проводиться исключительно по текущему слою.

Запустить команду *ActiveRoute* можно как из панели *ActiveRoute* одноимённой кнопкой, так и выполнив команду *Route* → *ActiveRoute*, а также щёлкнув левой клавишей мыши по пиктограмме , расположенной на панели инструментов или на панели *PCB Active Bar*. Кроме того, можно воспользоваться сочетанием горячих клавиш *Shift+A*.

Стоит также заметить, что *ActiveRoute* умеет различать и правильно прокладывать как обычные односигнальные цепи, так и дифференциальные пары. При выборе ширины проводников и зазоров между ними механизм *ActiveRoute* ориентируется на соответствующие правила. Если правила подразумевают варианты минимального, предпочитаемого или максимального значений (как, например, правила типа *Width*), то выбираться будут предпочтительные.

На рисунке 2 приведён пример простейшего применения механизма *ActiveRoute*. Все проводники, изображённые на рисунке, были сформированы одновременно. Как видно, прово-

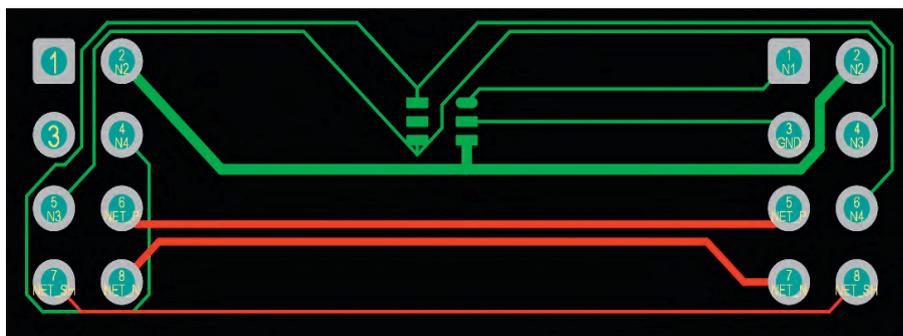


Рис. 2. Пример простейшего применения механизма *ActiveRoute*

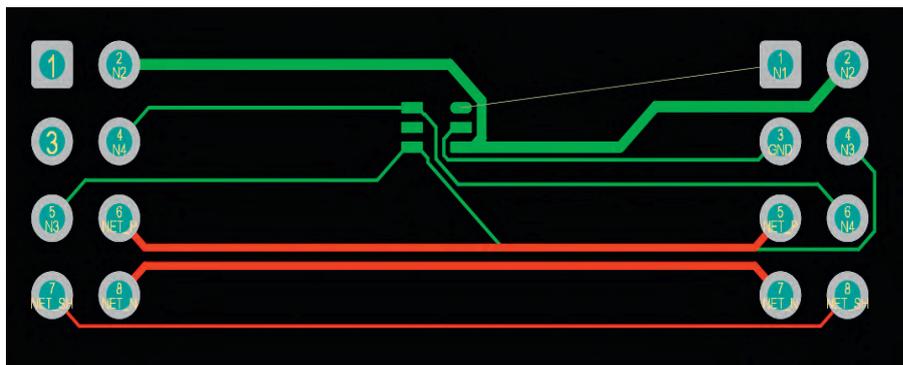


Рис. 3. Пример использования *ActiveRoute* с механизмом оптимизации *Gloss*

дники были проложены на двух слоях. На зелёном слое можно найти проводники разной толщины: в проекте предварительно были сформированы правила типа *Width* с разными значениями ширины. На красном слое также можно увидеть два проводника с увеличенной шириной, идущие рядом друг с другом, – это проводники дифференциальной пары, и они проложены именно как дифференциальная пара.

Gloss Results

Как видно из рисунка 2, проводники были проложены не очень аккуратно. Особенно это заметно по проводникам дифференциальной пары. Чтобы повысить качество прокладки проводников, *ActiveRoute* в качестве финального этапа трассировки может использовать механизм оптимизации проводящего рисунка *Gloss*. Для того чтобы задействовать оптимизацию, перед запуском *ActiveRoute* на панели *ActiveRoute* в области *Action* необходимо выбрать пункт *Gloss Results*. На рисунке 3 приведён пример работы *ActiveRoute* с включённым механизмом оптимизации. Если сравнить рисунки 2 и 3, то становится очевидно, что во втором случае трассировка выполнена более аккуратно. Стоит обратить внимание также на то, что одна из цепей оказалась неразведённой. Почему это произошло и как этого избежать, будет рассказано далее.

Meander % Over Manhattan Length

Механизм *ActiveRoute* стремится проложить проводники по наиболее короткому и оптимальному пути, т.е. пытается проложить трассы таким образом, чтобы они имели наименьшее количество изгибов и наименьшую длину. Однако нередко возникают ситуации, когда он не может проложить некоторые проводники из группы по причине значительно возрастающей длины, связанной со сложной топологией печатной платы (ПП). На рисунке 3 представлен именно такой случай: проводник одной из цепей не был проложен. В этом случае можно попытаться «помочь» механизму *ActiveRoute*. На панели *ActiveRoute* в области *Control* расположена опция *Meander % Over Manhattan Length*. Суть этой настройки в том, что с её помощью разрешается определённое превышение длины проводника над наиболее коротким расстоянием между соединяемыми элементами топологии. Расстояние между соединяемыми элементами вычисляется по метрике Манхэттена, а в настройках разрешённое превышение задаётся в процентах. По умолчанию оно задано на уровне 100%. Если его увеличить, у механизма *ActiveRoute* появится больше свободы в прокладке проводников. Чтобы изменить разрешённое превышение, необходимо

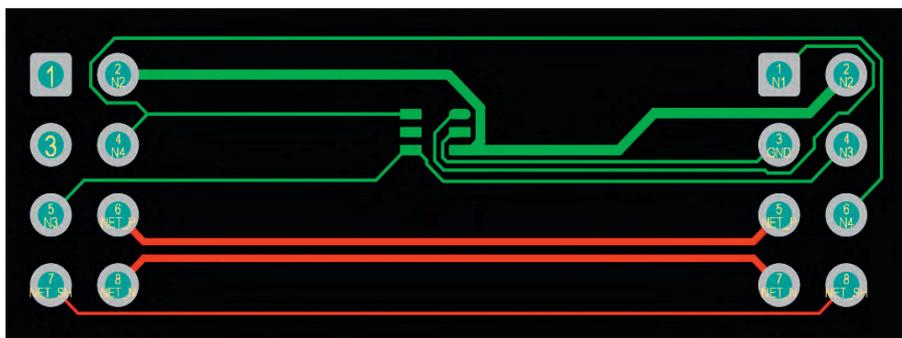


Рис. 4. Пример использования механизма *ActiveRoute* с увеличенным разрешённым превышением

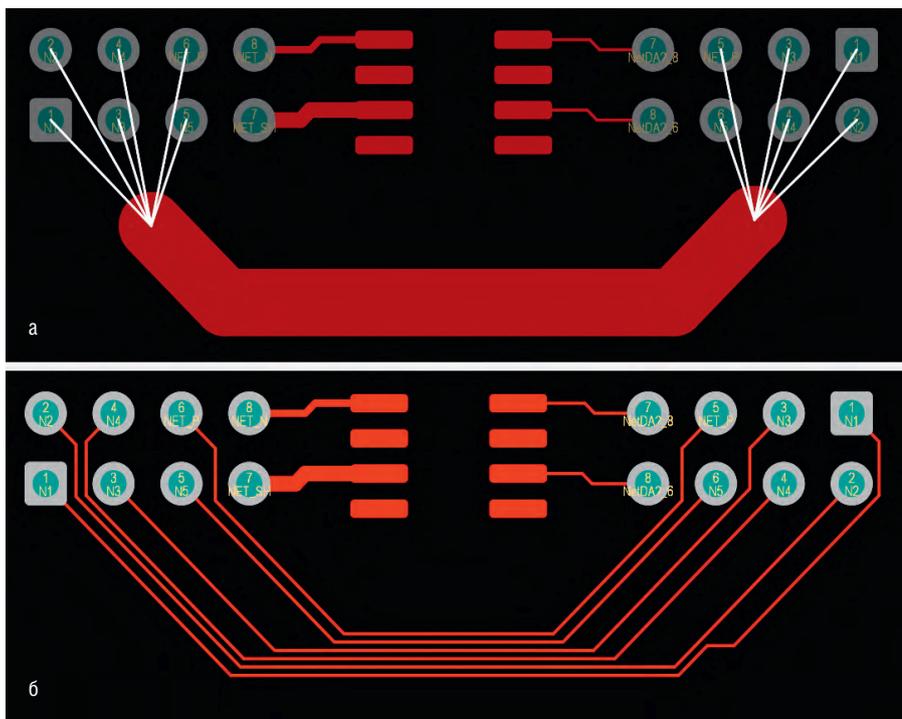


Рис. 5. Прокладка проводников механизмом *ActiveRoute* с применением направляющей:

а) формирование направляющей; б) выполнение команды *ActiveRoute*

либо вписать требуемое значение в окно ввода опции *Meander % Over Manhattan Length*, либо воспользоваться слайдером. На рисунке 4 приведён соответствующий пример. На нём изображён тот же участок топологии, что и на рисунке 3, однако в данном случае разрешённое превышение было увеличено со 100 до 200%. В результате, сравнивая рисунки 3 и 4, можно заметить, что проводники были проложены по-другому и все точки на этот раз были соединены.

Необходимо также иметь в виду, что опция *Meander % Over Manhattan Length* может быть применена только в том случае, если разработчик не применяет направляющие для прокладки групп проводников (о чём пойдёт речь далее).

Route Guide

Как уже говорилось ранее, механизм *ActiveRoute* стремится проложить груп-

пу проводников по наиболее короткому пути. Однако периодически у разработчиков ПП возникает необходимость проложить такую группу по иному пути. В этом случае на помощь приходит функция *Route Guide*. Суть данной функции заключается в том, что с её помощью перед запуском механизма *ActiveRoute* пользователь может сформировать специальную направляющую, указывающую путь, по которому должна пройти группа проводников. В таком случае алгоритм действий разработчика по трассировке с помощью механизма *ActiveRoute* приобретает следующий вид:

1. Выбрать цепи для трассировки.
2. Выбрать слои, на которых должны пройти трассы.
3. Сформировать направляющую (см. рис. 5а).
4. Выполнить команду *ActiveRoute* (см. рис. 5б).

Чтобы запустить процесс формирования направляющей, нужно нажать кнопку *Route Guide*, расположенную на панели *ActiveRoute* в области *Action*. Формирование направляющей аналогично прокладыванию отдельного проводника. Чтобы закончить формирование направляющей, необходимо щёлкнуть правой клавишей мыши в любом месте рабочего окна.

Ширина направляющей определяется исходя из ширины проводников, зазоров между ними, количества задействованных слоёв и рассчитывается по формуле: $\frac{W+C}{L} \times K$, где:

- *W* – суммарная ширина всех проводников, входящих в группу;
- *C* – сумма зазоров между проводниками;
- *L* – количество задействованных слоёв;
- *K* – коэффициент.

Границы направляющей являются жёстким препятствием для прокладываемых проводников. Если на пути направляющей находятся иные элементы топологии (например, ПО), то может возникнуть ситуация, когда из-за необходимости обхода этих препятствий в ширину направляющей не будут помещаться какие-либо из проводников. В таком случае эти проводники не прокладываются. Применяемый в формуле ширины направляющей коэффициент *K* по умолчанию принят равным 1,3. Данное значение выбрано для того, чтобы увеличить вероятность прохождения проводников по заданному пути с учётом препятствий.

Ширину направляющей можно корректировать в процессе её формирования. Для этого предназначены клавиши ↑ и ↓. Первая увеличивает ширину направляющей, вторая – уменьшает. В данном случае речь идёт об увеличении или уменьшении ширины направляющей за счёт изменения коэффициента *K*. Соответственно, увеличение данного коэффициента приводит к увеличению вероятности прокладки проводников, а уменьшение – к уменьшению вероятности. Коэффициент *K* может изменяться в пределах от 1 до 10. При этом необходимо иметь в виду, что изменение ширины направляющей приводит лишь к изменению вероятности прохождения проводников по заданному пути, а значения ширины проводников и зазоров между ними остаются без изменений.

Направляющая представляет собой набор сегментов заданной ширины,

сформированный в механическом слое. Это значит, что его можно редактировать путём выделения и перетаскивания отдельных сегментов с помощью левой клавиши мыши. При этом первый и последний сегменты по умолчанию блокируются, но их можно разблокировать стандартным способом. Чтобы удалить направляющую, достаточно выделить любой из её сегментов и нажать клавишу *Delete*.

Track-Track Space In Route Guide

Если изменение ширины направляющей за счёт корректировки значения коэффициента *K* приводит к изменению вероятности прохождения группы проводников по заданному пути, то с помощью опции *Track-Track Space In Route Guide* меняется величина зазоров между проводниками группы. Эту опцию можно найти на панели *ActiveRoute* в области *Control*. Здесь доступны два элемента управления: окно ввода и слайдер. Менять значение зазоров можно как с помощью слайдера, так и путём ввода в окне соответствующего значения. Если слайдер находится в крайнем левом положении, а в окне ввода отображается слово *Rule*, то размеры зазоров определяются соответствующими правилами. При изменении значения зазоров между проводниками меняется и ширина направляющей, так как она определяется в том числе и величиной зазоров.

Необходимо также иметь в виду, что опция *Track-Track Space In Route Guide* имеет более высокий приоритет, чем правила, поэтому нужно внимательно выставлять значения зазоров. Если определить их меньшими, чем задано правилами, то группа проводников будет сформирована в соответствии с опцией, но при этом редактор ПП отобразит соответствующие ошибки.

Также необходимо учитывать, что опция *Track-Track Space In Route Guide* доступна только с применением направляющей.

Tune Selected

Как уже упоминалось выше, механизм *ActiveRoute* умеет выравнивать длины цепей. Чтобы запустить эту процедуру, необходимо на панели *ActiveRoute* в области *Action* выбрать пункт *Tune Selected*. Однако, в отличие от описанных выше опций, этого недостаточно – необходимо также выполнить ряд настроек. Во-первых, в проекте ПП должно быть задано хотя бы

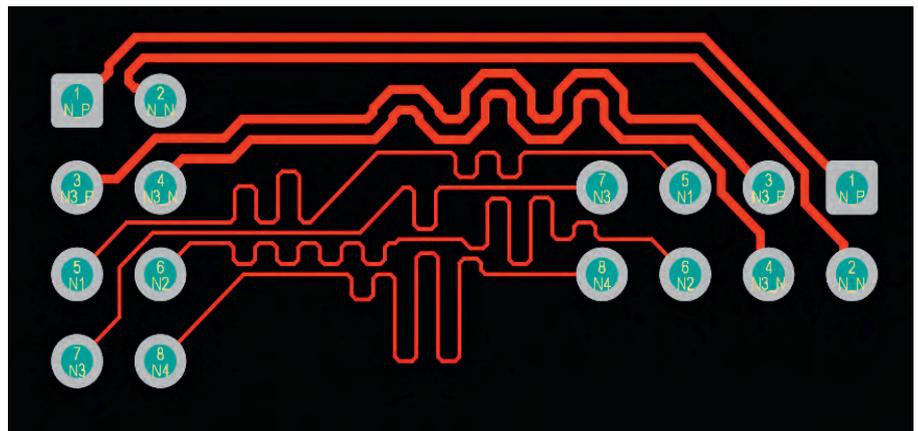


Рис. 6. Пример прокладки проводников с помощью механизма *ActiveRoute* с выравниванием длин проводников

одно правило типа *Matched Lengths*. Во-вторых, необходимо выполнить соответствующие настройки. Для этого предназначена расположенная на панели *ActiveRoute* область *Tune*. В её верхней части расположена таблица правил типа *Matched Lengths*. Чтобы выравнивание цепей состоялось, необходимо в данной таблице выбрать одно или несколько соответствующих правил. Ниже таблицы расположены два поля. Верхнее предназначено для настройки выравнивания одиночных цепей, нижнее – дифференциальных пар. Оба поля содержат схематичное отображение меандров и опции *Max Amplitude* и *Min Space*. С помощью первой задаётся максимальная амплитуда меандра, с помощью второй – минимальный шаг. На рисунке 6 приведён пример трассировки группы цепей с применением выравнивания длин проводников.

Необходимо заметить, что функция выравнивания длин проводников работает как с направляющей, так и без неё. Кроме того, в данном случае имеется ряд ограничений по сравнению с инструментом выравнивания цепей *Interactive Length Tuning*. Во-первых, доступен только один стиль выравнивания длин – с помощью меандра с 20%-ми фасками. Во-вторых, сформированные меандры не объединяются в блоки и остаются набором сегментов, как обычные проводники.

Pin Swap Routing

Ещё одна важная особенность механизма *ActiveRoute* – возможность автоматической перестановки выводов компонентов. Данная функция особенно полезна, когда проложить группу проводников возможно только поменяв местами сигналы на определённых

выводах ПМ. Включение данной функции производится с помощью выбора пункта *Pin Swap Routing*, который можно найти на панели *ActiveRoute* в области *Action*. Однако здесь также необходимо выполнить несколько настроек. Во-первых, в проекте ПП должны быть указаны ПМ, для которых разрешена перестановка выводов. Во-вторых, в нижней части панели расположена область *Pin Swap*, содержащая список ПМ, для которых в проекте разрешена перестановка выводов. Путём выбора нужного пункта можно включить или отключить возможность перестановки выводов для соответствующих ПМ в текущем сеансе прокладки проводников. На рисунке 7 отображено, как работает перестановка выводов с механизмом *ActiveRoute*. На рисунке 7а отражена ситуация, когда механизм *ActiveRoute* не справился с трассировкой группы цепей, а на рисунке 7б – когда механизм справился с трассировкой в результате перестановки выводов.

Если в процессе прокладки проводников была переставлена хотя бы пара сигналов, то после трассировки цепей откроется окно с вопросом *Update Schematic with Pin Swap Changes?* При положительном ответе схема будет обновлена в соответствии с произведённой перестановкой выводов.

Итоги

Необходимо понимать, что механизм *ActiveRoute*, хотя и приближается по своим возможностям к автоматическим трассировщикам, всё же остаётся интерактивным трассировщиком с высокой степенью автоматизации и большим набором функций.

Перед тем как воспользоваться данным механизмом, необходимо, чтобы

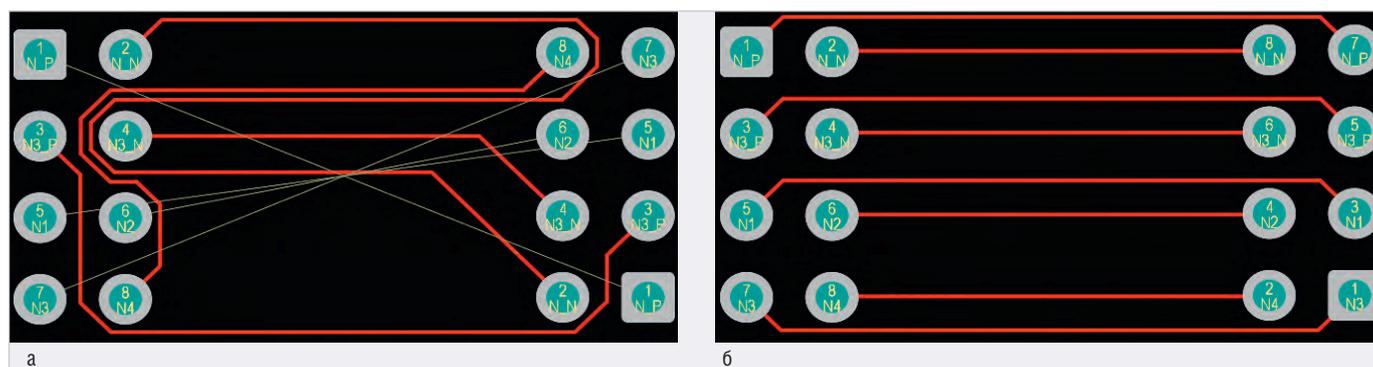


Рис. 7. Пример прокладки проводников с помощью механизма *ActiveRoute* с перестановкой выводов: а) неудачная трассировка без перестановки выводов; б) удачная трассировка с перестановкой выводов

в проекте были выполнены некоторые настройки. В первую очередь речь идёт о правилах. Обязательно должны быть настроены правила типов *Clearance* (правила зазоров) и *Width* (правила ширины проводников). Если с помощью механизма *ActiveRoute* предполагается трассировать в том числе и дифференциальные пары, то необходимо также настроить правила соответствующего типа – *Differential Pairs Routing*. Если предполагается выравнивать проводники, то должно быть настроено хотя бы одно правило типа *Matched Lengths*. И, наконец, если планируется включение функции перестановки выводов, то в проекте должны быть определены компоненты, для которых эта перестановка разрешена.

Если разработчик хочет воспользоваться полным набором функций *ActiveRoute* в одном сеансе трассировки группы цепей, то последовательность действий с учётом того, что все предварительные настройки правил и проекта были выполнены, будет примерно следующей:

1. Выбрать цепи для трассировки.
2. Открыть панель *ActiveRoute*.

3. Выбрать пункты *Tune Selected*, *Pin Swap Routing* и *Gloss Results*.
4. Выбрать слои, на которых должны пройти трассы.
5. Если будет использоваться направляющая, то, при необходимости, настроить зазоры между проводниками с помощью опции *Track-Track Space In Route Guide*. Если же направляющая использоваться не будет, то, при необходимости, настроить разрешённое превышение длины с помощью опции *Meander % Over Manhattan Length*.
6. С помощью опций области *Tune* настроить выравнивание длин цепей.
7. С помощью опций области *Pin Swap* выбрать ПМ, для которых допустима перестановка выводов.
8. При необходимости нажать кнопку *Route Guide* и сформировать направляющую.
9. Запустить команду *ActiveRoute*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

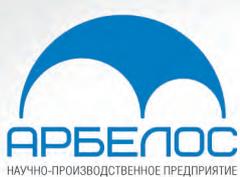
В настоящей статье был рассмотрен инструмент интерактивной трассировки *ActiveRoute*. Данный инструмент, с одной стороны, достаточно прост в использовании, с другой – обладает

поистине богатыми возможностями. По большому счёту он представляет собой интеграцию различного рода интерактивных трассировщиков с инструментами выравнивания длин проводников, перестановки выводов и оптимизации проложенных проводников. Всё это, несомненно, приводит к тому, что процесс разработки ПП ускоряется в разы и при этом значительно уменьшается количество ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубенко А. Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 1. Трассировка отдельной цепи. Современная электроника. 2018. № 3.
2. Якубенко А. Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 2. Трассировка дифференциальных пар и групп цепей. Современная электроника. 2018. № 4.
3. Якубенко А. Интерактивная трассировка в среде Altium Designer. Часть 3. Правила и редактирование. Современная электроника. 2018. № 5.
4. Altium. Documentation 2018. *ActiveRoute*: [https://www.altium.com/documentation/ru/18.1/display/ADES/\(\(ActiveRoute\)\)_AD](https://www.altium.com/documentation/ru/18.1/display/ADES/((ActiveRoute))_AD)





НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

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



POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИЛЕР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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

interlight

MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного
и технического освещения, электротехники
и автоматизации зданий

6–9 ноября 2018

ЦВК «Экспоцентр»
Москва



Компоненты | **NEW!**



Декоративное
освещение



Техническое
освещение



LED-технологии



Интегрированные
системы безопасности | **NEW!**



Электрические
лампы



Электротехника



Автоматизация зданий /
Умный дом

Вопросы терминологии и классификация инверторов

Часть 1

Евгений Силкин (elsi-mail@ya.ru)

В статье, относящейся к теме силовой электроники, речь идёт о необходимости использования в этой области знаний единых и точных терминов и определений.

В первой части анализируются некоторые проблемы, связанные, в том числе, с так называемой «гармонизацией» нормативов на современном этапе.

Набор или совокупность специальных терминов и определений, как известно, составляет основу любой области знаний. Такая совокупность – своего рода технический язык, который по определению должен быть однозначным и понятным всем, кто им пользуется. Здесь невозможно не согласиться, например, с автором [1], считавшим «совершенно очевидной важность правильно разработанной... терминологии». По этой причине для каждой из отраслей науки и техники всегда вводились стандарты и устанавливались специальные правила (в том числе международные, межгосударственные, государственные, отраслевые), регулирующие качество и объём используемой терминологии. Система стандартизации в СССР была одной из самых эффективных в мире. До сих пор применяются многочисленные стандарты и иная нормативная документация, относящиеся, в том числе, к научной и технической терминологии, разработанной ещё в СССР (и СЭВ).

В настоящее время позиции страны в значительной мере утрачены. Сегодня российская терминология различных предметных областей обогащается новыми терминами и определениями, в том числе из зарубежных источников, в переводах и на языках оригиналов, которые зачастую вызывают только путаницу и противоречат сложившимся на протяжении многих лет представлениям и даже действующим стандартам. Последнее коснулось и промышленной (силовой, энергетической, как сейчас называют) электроники (или преобразовательной техники) – области знаний, в которой СССР на протяжении многих десятилетий являлся одной из ведущих стран. Результатом

происходящих процессов естественной смены поколений специалистов, тотальной коммерциализации, появления прослойки учёных-консультантов по научной части и менеджеров для науки является, в том числе, существенный рост ошибок и различного рода несуразностей (конечно, и в применяемой терминологии) в многочисленных технических публикациях, затрудняющих, а порой и делающих практически невозможным оперативное восприятие и понимание того, что хотели сказать и донести до читателей авторы некоторых работ.

Например, в предисловии [2] говорится: «Силовая электроника – динамично развивающаяся область техники, связанная с большим числом смежных дисциплин, поэтому словарный запас специалиста... постоянно пополняется и изменяется, кроме того, в обиходе часто используются иностранные термины и инженерный жаргон... При подготовке словаря использовались энциклопедический словарь «Электроника» (М., 1991), Международный электротехнический словарь. Гл. 551. Силовая электроника, 1997 – русская версия (International Standart, IEC 60050-551, Manuscript 1997 – 06); словарь терминов «Силовая электроника» (М., 2001), а также ряд государственных стандартов, ссылки на которые даны в тексте... Несмотря на то что некоторые определения, взятые из указанных документов, нельзя признать удачными, составители оставили их без изменения, поскольку они являются официальными».

Довольно сложно согласиться с последним высказыванием авторов вышеупомянутого словаря по причине того, что большинство понятий в нём все-таки не содержат ссылок на

источники, а определения, взятые из документов, которые «нельзя признать удачными», следует давать с разъяснениями, почему они таковыми являются. Тем более, составители [2] считают, что «словарь позволяет специалистам в области силовой электроники, а также в смежных научно-технических областях правильное использовать термины, узнать точные и стандартизованные определения, лучше сопоставлять термины, употребляемые в русскоязычной или англоязычной литературе», а также что «словарь могут использовать... переводчики научной литературы и публикаций в области силовой электроники, он будет полезен студентам и преподавателям вузов, в которых проходят подготовку специалисты в области электротехники, электроэнергетики, радиоэлектроники и др.».

Определений же, которые «нельзя признать удачными» в [2] действительно достаточно, причём в большей степени это относится к терминам и понятиям, не содержащим ссылок на первичные источники.

Вот лишь некоторые примеры такой терминологии.

Резонансные инверторы в [2] упоминаются совместно с перечислениями на русском и английском языках различного рода резонансных и «квази-резонансных преобразователей» (soft switching converter – перевод составителей), «квазирезонансных ключей» (soft switch – перевод составителей), «прямых» и «непрямых» инверторов и проч., среди которых невозможно идентифицировать реальные устройства и которые ни в одном источнике более не встречаются. «Мягкое переключение» в электрических преобразователях возможно не только при использовании вводимых авторами [2] «квазирезонансных ключей», но и, например, при резонансной, квазирезонансной коммутации вентиляей, ограничении величин и скоростей изменения токов и напряжений ёмкостями и индуктивностями (в том числе насыщающимися). Можно также с уверенностью утверждать, что в вентиль-

ных силовых устройствах никакое иное переключение, кроме «мягкого», не реализуется в принципе. В IEC 60050 – International Electrotechnical Vocabulary (IEV) нет определений «квазирезонансных (и даже резонансных) ключей», «квазирезонансных» (и «мягких») инверторов и преобразователей. В IEC, например, содержится только одно правило (551-12-26) для резонансного преобразователя (не конкретно инвертора): резонансный преобразователь (resonant converter) – преобразователь с использованием резонансного контура(-ов) для обеспечения коммутации или уменьшения потерь на коммутацию. И определение это крайне неудачное, т.к. практически невозможно назвать ни одно реальное преобразовательное устройство (инвертор в том числе), в котором не было бы «резонансных контуров» для «обеспечения коммутации или уменьшения потерь на коммутацию» (что не делает их все резонансными). Используя определения для резонансного преобразователя из IEC (551-12-26) или из [2] (ссылка на МЭС 551-12-26), можно, в частности, к резонансным отнести все практиче-

ские реализации инверторов тока для установок индукционного нагрева, большое число схем инверторов напряжения, любые инверторы с квазирезонансной коммутацией и даже различные преобразовательные устройства, например со снабберами и клапмами, содержащие резонансные цепи с индуктивностями и ёмкостями. Резонансными же считаются инверторы, в которых выходной ток (и, соответственно, ток управляемого вентиля или вентиля) на интервале повторяемости (проводимости) изменяется по колебательному закону, а не просто электронные устройства, в силовых схемах которых есть или «используются резонансные контуры из реактивных элементов» (как записано в [2]). Определения же «квазирезонансный преобразователь» или, тем более, «квазирезонансный инвертор» употреблять не следует, т.к. невозможно понять, о каком устройстве вообще идёт речь, и чем оно отличается, в частности, от просто «резонансного». При этом понятие «квазирезонансный ключ» не использовалось даже в изначальных англоязычных источниках, отку-

да всё, касающееся «квазирезонансов», «мультирезонансов» и прочего, как считается, и началось (в том числе в [3–5]). В [3–5] речь идёт о соответствующих технологиях (методах) применительно к маломощным импульсным преобразователям DC/DC на двухоперационных вентилях (и резонансным ключам), как предполагается, существенно затрагивающих саму энергетику электромагнитных процессов в устройствах (в квази- и мультирезонансных преобразователях при этом используются резонансные ключи, а не квази- или мультирезонансные).

В [2] «прямой инвертор – инвертор без промежуточного звена постоянного тока [МЭС 551-12-13]». В IEC такое определение (direct inverter, 551-12-13, инвертор без звена постоянного тока) действительно есть. Однако инверторы не разделяются на «прямые» и «непрямые» (indirect inverter, 551-12-14, согласно [2] – инвертор со звеном постоянного тока). Инвертор, как и выпрямитель, – это одноступенчатый (имеется в виду число ступеней преобразования энергии) или однокаскадный (однозвенный, согласно



bulgin

a brand of Elektron Technology

Взрывозащищённые соединители EXPlora

Технические характеристики:

- Количество контактов: 2, 3, 4, 5, 7, 10
- Электрические характеристики: до 18 А, 600 В AC/DC
- Диапазон рабочих температур: –20...+55°C
- Взрывозащищённость по АTEX: Ex II 3 GD, для зон 2 и 22
- Влагозащищённость в соответствии с IP68, EN 60529:2001



IP68



ProCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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



PROCHIP

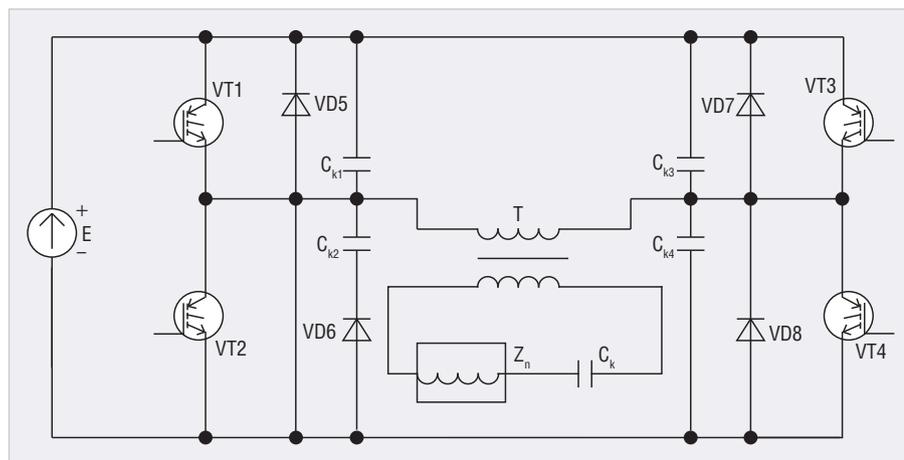


Рис. 1. Согласованный (резонансный) инвертор с открытым входом и дополнительными шунтирующими вентилями конденсаторами

принятой в [2] терминологии) преобразователь. Инвертор (151-13-46, IEV) – это устройство (конвертер электрической энергии), «который преобразует постоянный ток в однофазный или многофазные переменные токи». В соответствии с СТ МЭК 50(151)-78 «Электрические и магнитные устройства» «инвертором является преобразователь электрической энергии, который преобразует ток одного направления в систему переменных токов», а в ГОСТ 23414-84 «Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Термины и определения», в частности, полупроводниковым инвертором (или просто инвертором) называется «полупроводниковый преобразователь электроэнергии, предназначенный для преобразования постоянного тока в переменный». В Википедии же инвертором считается «устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением напряжения». В классическом источнике [6] можно найти текст следующего содержания: «Преобразователь повышенной частоты... состоит из двух основных узлов: выпрямителя, преобразующего переменный ток... в постоянный, и... автономного инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный... В промежуточное звено постоянного тока включается сглаживающий фильтр, который часто является элементом схемы инвертора... Различают преобразователи с явно выраженным и скрытым звеном постоянного тока». Отдельные определения в [2], касающиеся «прямого» и «непрямого» (с одним или несколькими звеньями переменного или постоянного тока) преобразования энергии, а также «прямых» и «непрямых» выпрямителей, инверторов и конвертеров (двух-

звенных и многозвенных преобразователей), прямо противоречат друг другу, вносят путаницу в понятия звена, ступени преобразования, каскада и проч. Например, согласно [2] классический инвертор тока должен быть «непрямым», инвертор напряжения при питании от аккумуляторной батареи является «прямым», а тот же инвертор при питании от выпрямителя с ёмкостным фильтром – «непрямым». Преобразователи частоты могут быть «прямыми» (со скрытым звеном постоянного тока, или, иначе, непосредственными, без промежуточного звена постоянного тока, по ГОСТ 23414-84) и «непрямыми» (с явно выраженным звеном постоянного тока, содержащими в структуре выпрямитель и автономный инвертор), а инверторы – только «прямыми» или «непосредственными» (разделение на «прямые» и «непрямые» для инверторов не несёт смысловой нагрузки, которая однозначно соответствовала бы известным представлениям, и ничего, по сути, не обозначает).

Согласно [2] полумостовой инвертор (half-bridge inverter) – это «однофазный инвертор напряжения, использующий полумостовую схему». Подобное определение является ошибочным, т.к. полумостовым может быть (причём в подавляющем большинстве практических случаев) и резонансный (согласованный) инвертор. То же самое можно отнести и к понятию из [2] – «последовательный инвертор» (в [2] inverter with series capacitor – инвертор тока, коммутирующие конденсаторы которого включены последовательно с нагрузкой). В преобразовательной технике словосочетание «последовательный инвертор» в течение десятилетий являлось альтернативным обозначени-

ем для резонансных инверторов. Соответственно, специалисты по силовой электронике, как правило (кроме особых случаев), не употребляли словосочетания «последовательный резонансный инвертор» (в [2] series resonant inverter – инвертор, резонансный контур которого соединён последовательно с нагрузкой), а если и употребляли, то в принципиально иной трактовке. То же можно отнести и к понятию параллельного резонансного инвертора из [2].

В [2] «широтно-импульсная модуляция, ШИМ (pulse weight modulation, PWM) – импульсное управление, при котором ширина или частота импульсов или та и другая модулируются в пределах каждого периода основной частоты для того, чтобы создать определённую форму... кривой выходного параметра [МЭС 551-16-30]». При этом далее указано: «Широтно-импульсное управление (pulse duration control) – импульсное управление посредством изменения длительности импульсов при постоянной частоте их следования [МЭС 551-16-28]. <...> Частотно-импульсное управление (pulse frequency control) – импульсное управление посредством изменения частоты импульсов при их постоянной длительности [МЭС 551-16-29]». В IEV же понятие (551-16-30) имеет иное название – pulse width modulation control (PWM control – управление с широтно-импульсной модуляцией). Английская аббревиатура PWM – это, вообще говоря, аббревиатура для pulse-width modulation, а не pulse weight modulation [2] (ссылка не является корректной). Но не это главное. Смысл понятий «ШИМ» в [2] и PWM control («импульсное управление, в котором ширина или частота импульса или оба параметра модулируются в течение каждого периода – fundamental period – для получения определённого выходного сигнала») в IEV, очевидно, не соответствуют друг другу и известному понятию широтно-импульсной модуляции (ШИМ) или (английскому) pulse-width modulation (PWM). Так что же считать и как в настоящее время определить (и, что важно, понимать) ШИМ? В ГОСТ 24375-80 «Радиосвязь. Термины и определения» «широтно-импульсная модуляция – импульсная модуляция, при которой изменяемым параметром является длительность импульсов». Там же даны определения и для других известных видов модуляции: амплитудно-импульсной, частотно-импульсной

и фазоимпульсной. Теория автоматического управления оперирует с понятиями методов квантования сигналов по времени (дискретные импульсные системы), соответствующими амплитудно-импульсной, широтно-импульсной и временной импульсной модуляции (а именно частотно-импульсной и фазоимпульсной). При «широтно-импульсной модуляции длительность импульсов (или скважность) зависит от дискретных значений входного сигнала, в то время как период дискретности и высота импульсов постоянны». Таким образом, можно утверждать, что в одном определении ШИМ из [2] (а также из IEV, PWM control) фактически смешиваются сразу несколько видов импульсной модуляции (и даже, вероятно, содержится ссылка на релейные системы, относящиеся вообще к другому типу дискретных систем).

В качестве небольшого отступления стоит отметить, что и с модуляцией и её определениями (и применениями, в частности, к характеристикам устройств силовой электроники) не всё обстоит благополучно. Стали различать, например, «аналого-

вую» и «цифровую» ШИМ. В некоторых источниках говорится о «плотностно-импульсной» модуляции (или импульсно-плотностной, и это тоже ШИМ, или, даже, импульсно-кодовая модуляция – ИКМ). В публикации [7] резонансный инвертор (см. рис. 1) с дополнительными шунтирующими вентилями «демпфирующими конденсаторами» называется «последовательным резонансным инвертором напряжения». В аннотации к [7] сказано о том, что «предложен способ кодово-импульсного регулирования технологического параметра преобразователя частоты для установки индукционного нагрева» и что при использовании этого способа «значительно уменьшаются мощность потерь на переключение силовых коммутирующих приборов, массогабаритные показатели и увеличивается КПД преобразователя частоты». Далее в [3] можно прочитать: кодово-импульсная модуляция (КИМ) «в технологии индукционного нагрева является новым и очень перспективным направлением, т.к. позволяет при достаточной точности регулирования практически исключить динами-

ческие потери на переключение силовых коммутирующих приборов, что в принципе не сможет обеспечить ни один из методов регулирования, применяемых в индукционном нагреве». При этом в разделе статьи [3] «Теория КИМ» указывается, что «регулирование среднего значения потребляемой от сети энергии при КИМ достигается за счёт изменения количества вынуждающих импульсов, подключаемых к нагрузке за некоторый интервал времени» и что «выходная частота инвертора в данном случае постоянно настроена на резонанс, обеспечивая таким образом нулевой ток включения и выключения силовых коммутирующих приборов». И это при наличии в схеме шунтирующих вентилях «демпфирующих конденсаторов», разряд которых при включении вентилей имеет место и ничем не ограничен (не выполняется условие «мягкой», или квазирезонансной коммутации, одна из основных причин выхода из строя вентилей в схемах таких автономных инверторов с указанным способом выключения, которая привела даже к массовым разработкам специальных типов тран-

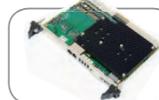
Fastwel



Российская электроника
для ответственных
применений

CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial

Скорость и надежность
современных технологий



CPC503



CPC508



CPC510



CPC512



PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Роснано

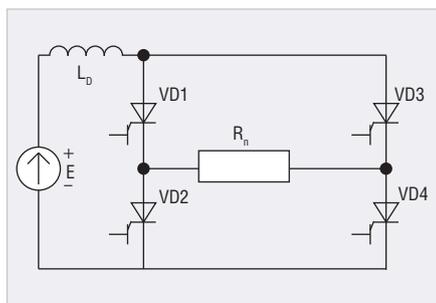


Рис. 2. Однофазный мостовой инвертор на двухоперационных тиристорах с резистивной нагрузкой и реактором в цепи источника питания

зисторов для подобных схем). Не понятно, зачем «демпфирующие конденсаторы» вообще включены в схему этого «последовательного резонансного инвертора напряжения» с «предложенной КИМ». Оставляя без комментариев, какое отношение к рассмотренному способу регулирования инвертора имеет КИМ (или ИКМ, импульсно-кодовая модуляция), которая представляет собой вариант (или метод) кодирования цифровой информации при передаче (записи) данных, и как КИМ может «практически исключить динамические потери на переключение силовых коммутирующих приборов», стоит отметить, что способ регулирования мощности за счёт «изменения относительного числа полупериодов прохождения тока к числу полупериодов, в течение которых ток отсутствует» хорошо известен, имеет недостатки принципиального характера и периодически используется в том числе в установках индукционного нагрева, как минимум с того момента, когда стал применяться сам индукционный нагрев. В некоторых источниках из указанной области техники этот способ регулирования (не модуляции) называют число-импульсным (наиболее точное по сути определение), с ударным возбуждением, широтно-импульсным на низкой частоте, многопериодным управлением, низкочастотным широтно-импульсным регулированием (или управлением), широтно-импульсным управлением с постоянной паузой или с переменным периодом, частотно-широтно-импульсным регулированием, релейным регулированием (если рассматривать модификацию с постоянным количеством пропусков периодов резонансного тока и с варьируемым периодом модуляции, другой класс дискретных систем), а также импульсной

модуляцией на низкой частоте и просто широтно-импульсной модуляцией согласно определению МЭС 551-16-30 (и нигде – КИМ; не упоминается такое определение и в источниках, включая ГОСТ Р 51317.3.2-99, на которые ссылаются авторы статьи). Однако в книге [8], которая приведена в списке литературы в [7] без ссылки в основном тексте, всё-таки встречается на одном из рисунков аббревиатура ИКМ без расшифровки понятия, а также представлены термины «кодо-импульсный модулятор» (КИМ) и «кодовый модулятор» (КМ), но применить это к данному вопросу невозможно.

В [2] фазоимпульсной модуляции называют вид импульсной модуляции, используемый в «непосредственных преобразователях частоты», у которых «выходное напряжение складывается из отрезков сетевого напряжения». Там же дано определение однополярной широтно-импульсной модуляции (unipolar PWM): «Модуляция, при которой импульсы напряжения имеют одну полярность». И это наряду с ранее приведённым там же (общим) определением PWM.

Представлены в [2], в том числе, статьи, относящиеся к инверторам напряжения и тока: инвертор напряжения – «инвертор, питаемый от цепи постоянного тока с преобладающими свойствами (характеристиками) источника напряжения»; инвертор тока – «инвертор, питаемый от цепи постоянного тока с преобладающими свойствами источника тока». В указанных определениях также даны ссылки на пункты МЭС (551-12-11 и 551-12-12 соответственно), однако, если обратиться к исходным текстам (IEC 60050-551:1998 International Electrotechnical Vocabulary, 551-12-11 и 551-12-12), то в них не обнаружится того, что написано по данной теме в [2]. Для инверторов напряжения и тока в IEC приводится только несколько словосочетаний (а именно названий), которые, вероятно, считаются равнозначными (и общая «универсальная» диаграмма). При этом смысл их (упомянутых названий) состоит в том, что инвертор напряжения «конвертирует» напряжение (из постоянного в переменное, «инвертор источника напряжения»), а инвертор тока «конвертирует» ток («инвертор источника тока»). Если же применить определения из [2], то, питая инвертор тока от «цепи постоянного тока с преоб-

ладающими свойствами источника тока», можно получить, как следует из текста, инвертор тока, а при питании его же «от цепи постоянного тока с преобладающими свойствами (характеристиками) источника напряжения», будет получен инвертор напряжения. Однако в большинстве практических случаев применения инвертор тока запитывается именно от «цепи постоянного тока с преобладающими свойствами (характеристиками) источника напряжения» (выпрямитель, аккумуляторная батарея). От таких же источников питается, как правило, и инвертор напряжения (и это совсем не означает, что последний нельзя запитать от «цепи со свойствами источника тока»). Кроме того, упомянутые выше резонансные инверторы также можно питать от источников с разными характеристиками. Таким образом, определения для инверторов напряжения и тока в [2] не соответствуют оригинальным понятиям из IEC. Необходимо при этом также заметить, что понятия «инвертор напряжения» и «инвертор тока» в IEC перешли из русскоязычных источников (и к недостаткам перевода их на английский язык в прошлом веке сегодня добавлены ошибки обратного перевода на русский язык). Если понятия из IEC можно отнести к разряду неудачных, то определения из [2] – только к ошибочным.

Действительно, в [9], например, при попытке применить аналогичные [2] определения (согласно ссылке – из МЭС «в переводе на русский язык») авторы были вынуждены дать дополнительные разъяснения довольно значительного объёма, которые, несмотря на это, нельзя совместить с их фактическим смыслом: «Инвертор напряжения – инвертор, подключённый к источнику постоянного тока с преобладающими свойствами источника напряжения»; «Инвертор тока – инвертор, подключённый к источнику постоянного тока с преобладающими свойствами источника тока». Кроме того, в [9] сказано: в цепи постоянного тока инвертора (тока) «включён реактор с большой индуктивностью, тогда при коммутации ключевых элементов ток в реакторе меняется незначительно, ключевые элементы инвертора изменяют направление (но не мгновенное значение) тока в нагрузке, поэтому мож-

но считать, что нагрузка подключена к источнику тока. <...> В схеме инвертора напряжения источник постоянного напряжения подключён к ключевым элементам, которые периодически коммутируют цепи нагрузки при изменении полярности напряжения, подаваемого к нагрузке, поэтому можно считать, что нагрузка подключена к источнику переменного напряжения. <...> В цепях постоянного тока некоторых инверторов напряжения имеется индуктивность, обеспечивающая коммутацию тиристорных, поэтому наличие индуктивности в цепи постоянного тока ещё не является достаточным признаком для определения типа схемы (инвертор тока или инвертор напряжения), необходимо знать характер изменения входного тока инвертора: как правило, считают, что в инверторах тока входной ток непрерывен или прерывается... на незначительное по сравнению с межкоммутационным интервалом время. <...> Резонансными преобразователями называются преобразователи, в которых используются электрические цепи с индуктивными и ёмкостными элементами для коммутации ключей со снижением потерь мощности при коммутации». То же самое фактически дословно повторяется и в [10]. Стоит отметить лишь, что, если нагрузка инвертора, например, активная (для упрощения восприятия), реактор в цепи постоянного тока может иметь индуктивность любой величины (см. рис. 2) и при коммутации ключевых элементов ток в реакторе меняется незначительно (может не изменяться совсем), а ключевые элементы инвертора изменяют направление,

но не мгновенное значение тока в нагрузке; реактор может и отсутствовать (инвертор напряжения), а ключевые элементы будут изменять направление (но не мгновенное значение) тока в нагрузке. Источник тока и реактор в цепи постоянного тока с большой индуктивностью – это (применительно к упомянутым тезисам касательно инверторов тока), очевидно, принципиально разные вещи. В первом случае напряжение (на активной нагрузке инвертора тока, даже с реактором большой индуктивности) будет пропорционально сопротивлению нагрузки (а ток неизменен), а во втором – напряжение на нагрузке (в установившемся режиме) всегда равно напряжению на входе инвертора (напряжению питания, то есть неизменному напряжению), а ток (как на входе, так и на выходе) будет обратно пропорционален сопротивлению нагрузки. Существует и большое количество схем резонансных (согласованных) инверторов, в цепи постоянного тока которых включён реактор с большой индуктивностью. Интересно, что определения из [2] для инверторов напряжения и тока отличаются и от соответствующих статей в МЭС, а не только от определений из IEV, как упоминалось выше, и, естественно, от текстов, приведённых в [9, 10].

Во второй части статьи будет обоснована необходимость классифицировать инверторы в зависимости от различий в характере электромагнитных процессов в силовой схеме, а также дано определение автономного согласованного инвертора и показано, что резонансные инверторы являются частным случаем согласованного инвертора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Туманишвили Д.Г.* Некоторые вопросы классификации в электроприводе. Электричество. 1939. № 4.
2. Силовая электроника: краткий энциклопедический словарь терминов и определений / под ред. Ф.И. Ковалёва и М.В. Рябчицкого. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 90 с.
3. *Liu K.* High-frequency quasi-resonant converter techniques. Ph.D. Dissertation, Electrical Engineering Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Oct. 1986.
4. *Jovanovic M.* High-frequency, off-line power conversion using quasi-resonant and multi-resonant techniques. Ph.D. Dissertation, Electrical Engineering Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Sept. 1988.
5. *Lee F., Tabisz W., Jovanovic M.* High-frequency quasi-resonant and multi-resonant converter technologies. Archiv fur Elektrotechnik, n.74, 1990, pp.107–116.
6. *Беркович Е.И., Ивенский Г.В., Иоффе Ю.С.* и др. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
7. *Земан С.К., Сандырев О.Е.* Кодово-импульсный способ регулирования технологического параметра преобразователя частоты установки индукционного нагрева. Известия Томского политехнического университета. Т. 310. 2007. № 1. – С. 191–196.
8. *Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Музыченко Н.М.* Модуляционные источники питания РЭА. – М.: Радио и связь, 1990. – 322 с.
9. *Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.* Силовая электроника: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
10. *Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е.* и др. Справочник по силовой электронике. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 472 с. ©

Уважаемые читатели!

В статье «Логический анализатор „за один вечер“. Часть 1. Подготовка аппаратной части» («Современная электроника» № 3/2018) автором были неверно указаны значения ёмкости микросхем памяти. Далее приведены соответствующие фрагменты текста с внесёнными изменениями.

Стр. 43, средняя колонка, второй абзац: «Необходимо заметить, что корректная поддержка программой Saleae Logic аппаратных средств контроллера CY7C68013A возможна только в том случае, если в качестве микросхемы внешней памяти EEPROM с интерфейсом I²C используется микросхема, у которой адресация записываемой или считываемой ячейки осуществляется одним адресным байтом (Word Address) без учёта дополнительных битов выбора страницы в байте управления. Это справедливо для микросхем памяти EEPROM с интерфейсом I²C начиная с 24CL02 до 24CL16 включительно. У микросхем большей ёмкости адресация ячейки осуществляется двумя байтами (Address MSB и Address LSB). На плате CY7C68013A USB Board производителем установлена микросхема U2 FM24CL64, которую необходимо заменить на любую из приведённого перечня. Автор использовал микросхему FM24CL16».

Стр. 45, левая колонка, первый абзац: «Для микросхемы FM24CL16 он должен иметь размер, показанный на рисунке 6».

Редакция приносит свои извинения, а также сообщает, что, несмотря на допущенные ошибки, рекомендации по применению микросхем в устройстве, приведённые в статье, остаются без изменений.



ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ
УЖЕ ОПЛАЧЕНА
РЕКЛАМОДАТЕЛЯМИ

Бесплатная подписка для специалистов



3 идентичные версии: печатная, электронная, мобильная



Мобильное приложение



App Store Google Play



Мобильное приложение



App Store Google Play

WWW.CTA.RU

WWW.SOEL.RU

Подписка оформляется на сайтах журналов



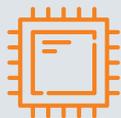
Выставка
ЭЛЕКТРОНИКА
Урал

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА

ЭЛЕКТРОНИКА — УРАЛ 2018

27-29 НОЯБРЯ

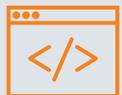
ЕКАТЕРИНБУРГ, ЦМТЕ



Электронные компоненты
и комплектующие



Источники питания



Программное обеспечение
и услуги



Оборудование и технологии
для производства электроники

ПРОХОДИТ ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ «ПТА-УРАЛ 2018»

WWW.PTA-EXPO.RU

ЕКАТЕРИНБУРГ



(343) 270-23-76



info@pta-expo.ru

ОРГАНИЗАТОР

Электроника

МОСКВА



(495) 234-22-10



info@pta-expo.ru

FSVA — анализатор спектра и сигналов среднего класса

Необходимое и достаточное условие Вашего успеха

- Частотный диапазон от 10 Гц до 4/7/13,6/30/40 ГГц (с возможностью расширения до 500 ГГц)
- Уровень собственных шумов: - 168 дБм (1 Гц)
- Собственный фазовый шум: - 118 дБн (1 Гц) на 1 ГГц
- Полоса анализа 160 МГц вплоть до 40 ГГц ВЧ
- Поддержка внешнего ПО R&S®VSE

Незаменимый инструмент для разработки и производства

- Анализ импульсных сигналов (совместно с R&S®VSE)
- Анализ аналоговой и цифровой модуляции
- Измерения коэффициента шума и усиления фазовых шумов
- Предсертификационное тестирование на ЭМС
- Анализ стандартов беспроводной связи (вкл. LTE-Advanced, WLAN (IEEE 802.11ac), WCDMA/HSPA+, TD-SCDMA, GSM/EDGE, CDMA2000®, Bluetooth®)

3 года
гарантии



www.rohde-schwarz.com/ru/product/fsva