

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

7

2022

▶ YouTube



В номере:

Проектирование гибко-жестких печатных плат в Delta Design

Радиочастотные соединители для МРТ

Что такое квантовый компьютер

Адаптивная система управления шаговым двигателем

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ БРС С ВОЕННОЙ ПРИЕМКОЙ



- Процессоры Pentium 4 / Pentium D / Core 2 Duo / Core i3 / Core i5 / Core i7 / Xeon**
- AI X-платы (до 7 карт расширения)**
Объединительные платы для 18 карт расширения
- Сменные вентиляторы и воздушные фильтры приточной системы охлаждения**
- Резервированные или одинарные блоки питания**
- Вариант исполнения — настольный / настенный / стойный (до 6U)**
- Любые механические доработки корпуса по специфическим требованиям клиента**
- Комплектация всех плат расширения дополнительными фиксаторами**
- Процессорные платы PICMG 1.3**
- Установка и конфигурирование любых ISA, PCI, PCI Express-плат расширения по заявке заказчика**
- Продуманная трассировка и профессиональная укладка кабелей и шлейфов для улучшения терморежима**

Современные компьютеры российской сборки Advantix™ отвечают самым высоким требованиям промышленного сектора. При производстве изделий используются технологии, уменьшающие вероятность отказов и повышающие общую надёжность системы.

Заказчик всегда может выбрать подходящий ему компьютер Advantix™ на московском складе готовой продукции.





ЛАБОРАТОРИЯ ИСПЫТАНИЙ

ЭКБ И РЭА

АО «ТЕСТПРИБОР» ПРОВОДИТ ШИРОКИЙ СПЕКТР ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ (ЭКБ) И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (РЭА)

Для обеспечения качественной поставки ЭКБ проводятся:

- Входной контроль
- Отбраковочные испытания
- Климатические испытания
- Механические испытания
- Диагностический неразрушающий контроль
- Разрушающий физический анализ
- Испытания по оценке надежности ЭКБ
- Проверка на отсутствие признаков контрафактной продукции

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- ГОСТ РВ 20.57.416
- ГОСТ РВ 20.57.305
- ГОСТ РВ 20.57.306
- ГОСТ РВ 20.57.414
- ГОСТ Р 51293-99
- ГОСТ 20.57.406
- ГОСТ 9.048
- ОСТ В 11.073.013
- КТ-160G

АККРЕДИТАЦИЯ

- СДС «ЭЛЕКТРОНСЕРТ» №ЭС 01.061.0140-2021 от 25 июня 2021 г.
- СДС «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР» №ВР АА.7.41.0040-2017 от 26 мая 2017г.
- Межгосударственный авиационный комитет - Авиационный регистр (АРМАК) от 21 октября 2016 г.
- Аттестат Росавиации от 22 ноября 2021 г.

Реклама



+7 (495) 657-87-37



tp@test-expert.ru
www.test-expert.ru



125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А



Здравствуйте, уважаемые друзья!

В связи с беспрецедентными санкциями и весьма вероятным уходом с российского рынка ведущих мировых производителей программного обеспечения САПР в области электроники невероятную актуальность приобретают имеющиеся отечественные разработки.

Компания «ЭРЕМЕКС» представляет на российском рынке Delta Design, САПР разработки электронных устройств на базе печатных плат – первый отечественный продукт, обеспечивающий сквозной цикл проектирования. Как российское ПО, эта САПР изначально поддерживает ГОСТы и при этом совместима с международными стандартами. Delta Design, хоть и не «доросла» пока до уровня ведущих западных продуктов, тем не менее весьма динамично развивается и уже сегодня способна качественно решать широкий круг задач. Например, для трассировки печатных плат эта САПР использует уникальные алгоритмы трассировщика TopoR, позволяющие достигать высочайшей плотности размещения элементов, снижать суммарную длину проводников и количество межслойных переходов, минимизировать перекрёстные электромагнитные помехи. Delta Design оценили по достоинству такие компании, как ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» и Fastwel – разработчики и производители электроники для ответственных применений.

Продолжая публикацию статей, написанных инженерами и программистами системы Delta Design по просьбам пользователей этой САПР, мы даём вам возможность узнать о новой функциональности системы и лучшей практике работы с ней.

Мы по-прежнему работаем для вас, собирая самые интересные статьи и новости. Заходите на наш сайт, подписывайтесь на наш YouTube-канал, смотрите наши репортажи и делитесь ссылками на них со своими коллегами!

Всего вам доброго!

Журнал «Современная электроника»
Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков
Заместитель главного редактора
А. В. Малыгин

Редакционная коллегия А. Е. Балакирев,
В. К. Жданкин, С. А. Сорокин, Д. А. Кабачник,
Р. Х. Хакимов

Вёрстка А. М. Бабийчук

Обложка Д. В. Юсим

Распространение А. Б. Хамидова (info@soel.ru)

Реклама И. Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108,
пом/ком/эт 1/67/тех

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,
Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

info@soel.ru • www.soel.ru

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

Журнал зарегистрирован в Федеральной
службе по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых
коммуникаций и охране культурного наследия
(свидетельство ПИ № ФС77-18792
от 28 октября 2004 г.)

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

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

Тел./факс: (499) 903-69-52

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, 2022

ЧИТАЙТЕ
ЖУРНАЛ 

В ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ

на сайте soel.ru

после простой регистрации

И

В ПЕЧАТНОЙ ВЕРСИИ

по подписке

СОДЕРЖАНИЕ 7/2022

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

AdvantiX	4, 6, 2-я стр. обл.
Delta Design	5, 6
LITEMAX	55
RFcore	39
ДОЛОМАНТ	45
ETC Электроникс	4-я стр. обл.
КОМПОНЕНТА	5, 7
МОРИОН	6
СНЕЖЕТЬ	8, 1-я стр. обл.
ТЕСТПРИБОР	1, 4, 3-я стр. обл.
ЭРКОН	5, 31

Читайте в «СТА» № 3/2022:

Российское ПО в промышленности:
не обманет, не продаст

Китай заполняет ниши: кто заменит
ушедших поставщиков

Невзирая на санкции: новые проекты
автоматизации



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

РЫНОК

4 Новости российского рынка

ПЕРСОНА НОМЕРА

8 Интервью с генеральным директором АО «Завод «Снежень» на выставке «Экспозлектроника-2022»

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

10 Магнитно-резонансная томография и радиочастотные соединители

Кива Джуринский

18 Современные продукты компании Microchip. Особенности 16-разрядных микроконтроллеров и цифровых сигнальных контроллеров

Юрий Петропавловский

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

24 Зачем нужны квантовые вычисления? Часть 1. Что такое квантовый компьютер

Виктор Алексеев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

33 Проектирование источников питания

Фредерик Досталь

40 Гибко-жесткие печатные платы (Delta Design)

Сергей Попов

46 Создание адаптивной системы управления шаговым двигателем

Александр Петрушин

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

48 Барометр-гигрометр-термометр с батарейным питанием на базе MEMS датчика BME280, микроконтроллера EFM8SB10F8 и ЖКИ-модуля H1313. Часть 1

Алексей Кузьминов

54 «Умная теплица» на шести сотках

Сергей Шишкин

60 Индикатор разряда АКБ в беспроводной клавиатуре

Сергей Глибин

62 Дистанционный регулятор яркости люстры с функцией плавного включения

Александр Одинец

Новости российского рынка

СОБЫТИЯ

XI ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭКБ-2022»

Компания «ТЕСТПРИБОР» приглашает руководителей, инженеров и специалистов принять участие в XI научно-технической конференции «Обеспечение предприятий радиоэлектронной промышленности электронно-компонентной базой», которая состоится 15–16 сентября на теплоходе «Артурс». Конференция начнёт работу в 10:00.

В программе конференции предполагается заслушать и обсудить доклады ведущих специалистов предприятий – разработчиков и изготовителей ЭКБ и РЭА, экспертных организаций, испытательных центров и квалифицированных поставщиков.

К обсуждению предлагаются следующие темы:



- «Критическая комплектация для современной измерительной техники»;
- «Технологии, материалы и комплектующие ИП, необходимые для изготовления отечественной ЭКБ»;
- «Технологические возможности отечественных предприятий радиоэлектронной промышленности»;
- «Проработка детального использования потенциала малых и средних предприятий в обеспечении производства и материалов для ЭКБ».

Для участия в конференции необходимо:

- направить заявку по электронной почте: soroka@test-expert.ru (Ольга Сорока), solovevaao@test-expert.ru (Анастасия Соловьева);
- получить заявку в электронном виде можно на сайте www.test-expert.ru в разделе «Пресс-центр».

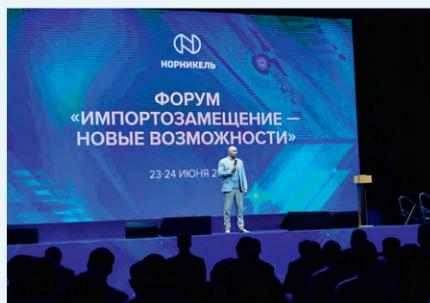
Данная конференция стала традиционной для многих предприятий радиоэлектронной промышленности: как для потребителей, так и для компаний-изготовителей. В рамках конференции можно обсудить многие интересующие вас вопросы и проблемы, найти новые контакты и деловые партнёрства.

www.test-expert.ru
tp@test-expert.ru
 +7 (495) 657 87 37

Компании «Адвантикс» и «Норильский никель» заключили Меморандум о намерениях стратегического партнёрства

23–24 июня 2022 года в Норильске впервые состоялся форум «Импортозамещение – новые возможности», организованный компанией «Норникель». В форуме приняли участие около 200 участников из более чем 100 крупнейших технологических компаний России, Казахстана и Белоруссии, а также представители федеральных, краевых и муниципальных органов власти. В течение двух дней участники форума обсуждали способность отечественной промышленности обеспечить потребности «Норникеля» и других крупных российских предприятий всеми необходимыми материалами и оборудованием.

В текущей ситуации многие крупнейшие компании активно начинают замещать иностранное оборудование российскими аналогами. Компания «Адвантикс» на протяжении многих лет активно сотрудничает с компанией «Норникель», поставляя отечественное оборудование для самых экстремальных условий эксплуатации. Благодаря надёжной конструкции, расширенному температурному диапазону и высокой производительности изделия AdvantiX широко применяется на удалённых объектах за полярным кругом.



«Специфика работы с такими предприятиями, как "Норникель" – удалённые объекты в экстремальных погодных условиях, которые сложно регулярно обслуживать, при этом критически важна их непрерывная работа. На форуме активно обсуждалось развитие по направлениям в сферах механических технологий, энергетики, автоматизации и цифровизации, горного производства, самоходной горной техники и транспорта. Во многих направлениях мы можем активно помочь создать импортозамещённую базу, ведь наша миссия – поставлять высокотехнологичное оборудование, которое обеспечивает непрерывную работу в сложных условиях с минимальным обслуживанием. Мы активно продолжаем сотрудничество с "Норникелем", развивая новые решения для их сложных задач, и рады, что данное сотрудничество будет развиваться», – комментирует Алексей Петренко, генеральный директор «Адвантикс».

Закономерным результатом форума стало заключение компаниями «Адвантикс» и «Норильский никель» Меморандума о намерениях стратегического партнёрства.



Предметом Меморандума является установление отношений стратегического партнёрства, развития долгосрочного эффективного сотрудничества с целью реализации концепции по импортозамещению продукции, потребляемой Заполярным филиалом компании «Норильский Никель». Согласно заключённому документу, компании договорились оказывать взаимную консультативную, экспертную, организационно-методическую и информационную поддержку, предпринимать совместные действия по реализации концепции импортозамещения.

www.advantix-pc.ru
info@prosoft.ru
 +7 (495) 234-06-36

В ЖУРНАЛЕ ОБ ИННОВАЦИЯХ ОПУБЛИКОВАНО ИНТЕРВЬЮ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА АО «ЭРЕМЕКС»

В журнале об инновациях в России «Стимул» вышло интервью генерального директора АО «ЭРЕМЕКС» Сергея Пилкина под заголовком «Цветущая сложность микроэлектронной САПР». Читайте рассуждения профессионала о состоянии и перспективах российского рынка разработки ПО в целом и сферы САПР для электроники в частности.

Поскольку ЭРЕМЕКС занимается разработкой САПР и другого ПО для развития электронной промышленности, Сергей Пилкин

основное внимание в интервью уделит проблемам и перспективам этой отрасли в России. Он подчеркнул, что до 2015 года, когда ЭРЕМЕКС выпустил на рынок систему Delta Design, отечественных САПР для проектирования радиоэлектронной аппаратуры вообще не существовало, а российских САПР для проектирования микросхем нет и поныне. И хотя число потребителей продукта ЭРЕМЕКС постоянно растёт, на рынке ещё господствуют иностранные продукты. Государство осознало эту проблему еще в 2014 году, но решить её командно-административными методами не удалось, и с вероятностью 80–90% не удастся и в будущем. При водопадном методе управ-

ления проектами, преимущественно используемом в госпроектах по созданию САПР, вероятность успеха стремится к нулю.

Компания «ЭРЕМЕКС» считает, что перспективным является другой принцип организации работы в области разработки ПО. Этот способ используется во всем мире, и Сергей Пилкин называет его «создать поляну». В интервью журналу «Стимул» генеральный директор АО «ЭРЕМЕКС» подробно рассказывает об этом принципе и обосновывает необходимость его применения в России.

<https://www.eremex.ru/>
info@eremex.ru
+7 (495) 232-18-64

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

Новый интеллектуальный дисплейный модуль RLOF00101000JGDAASA00 с диагональю экрана 10,1" и интерфейсом обмена RS-485

Смарт-дисплей серии RS-485 определяется при работе как ведомое устройство, управляемое внешним головным устройством с помощью команд RS-485, и предназначен для отображения информации на своём экране и возврата данных о событиях управляющего касания с графическими объектами изображения, согласно используемому коммуникационному протоколу Modbus.

Дисплей RLOF00101000JGDAASA00 изготовлен как комбинированное устройство, состоя-

щее из стандартного TFT-дисплея RFH1010J-AYW-LNB, установленного на печатной плате контроллера управления с заранее прописанным во встроенную флеш-память микропрограммным обеспечением под конкретное применение. Данный 10,1-дюймовый смарт-дисплей может работать с компьютером в качестве ХОСТ-платформы по ключу USB2.0/RS-485. Обмениваться данными с другими устройствами, поддерживающими протокол Modbus, не составляет труда, кроме того, есть готовые типы сценариев управления на выбор, что позволяет клиентам быстро приступить к разработке проекта.

Модуль RLOF00101000JGDAASA00 является простым в эксплуатации устройством,



которое поможет вам в кратчайшие сроки разрабатывать свои проекты.

www.komponenta.ru
+7 (495) 150-21-50

Постоянные металлоплёночные высокоомные высоковольтные резисторы P1-154

АО «НПО «ЭРКОН» предлагает к применению постоянные непроволочные высокоомные высоковольтные резисторы P1-154 для навесного монтажа.

Резисторы изготавливают в едином исполнении, пригодном как для ручной, так и для автоматизированной сборки аппаратуры.

Рабочий диапазон температур резисторов от –60 до +125 °С. Минимальная нара-

ботка при $P \leq P_{ном}$, $t_{окр.} \leq 70$ °С составляет 50 000 ч.



Резисторы P1-154 применяют в источниках питания, промышленном оборудовании в условиях воздействий внешних факторов,

высоковольтных устройствах, требующих высокой стабильности и надёжности характеристик.

Преимуществом металлоплёночных резисторов в сравнении с обычно используемыми высокоомными высоковольтными композиционными резисторами является пониженный уровень фликер-шумов.

Более подробная информация о новинках и серийно выпускаемой продукции представлена на сайте компании.

www.erkon-nn.ru
sales@erkon-nn.ru
+7 (831) 202-25-52
+7 (831) 465-64-31

Основные электрические характеристики резисторов:

Номинальная мощность рассеяния, Вт	Диапазон значений номинального сопротивления	Допускаемое отклонение сопротивления, %	Предельное рабочее напряжение, В (при атмосферном давлении 645 мм рт. ст. и выше)
0,5	От 100 кОм до 1 МОм	±1	3500
	От 1 МОм до 10 МОм	±2	
	От 10 МОм до 33 МОм	±5	

Температурный коэффициент сопротивления:

Диапазон значений номинального сопротивления	Значения ТКС $\times 10^{-6}$, 1/°С, не более, в интервале температур		Обозначение группы ТКС
	От 20 до 155 °С (от 293 до 428 К)	От –60 до 20 °С (от 213 до 293 К)	
От 100 кОм до 1 МОм	±100	±500	В
От 100 кОм до 10 МОм	±250	±500	Г
От 100 кОм до 33 МОм	±500	±500	Д

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

КВАРЦЕВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В HI-END И HI-FI АУДИОАППАРАТУРЕ

АО «МОРИОН» (Санкт-Петербург) – ведущее предприятие России и один из мировых лидеров в области разработки и серийного производства пьезоэлектрических приборов стабилизации и селекции частоты – представляет кварцевые генераторы для применения в Hi-End и Hi-Fi аудиоаппаратуре. Для топового оборудования компания производит кварцевые генераторы ГК205-ТС или ГК410-ТС на частоты 22,5792 МГц, 24,576 МГц, 45,1584 МГц и 49,152 МГц с ультранизким уровнем фазовых шумов, а также ГК272М-ТС на частоту 10 МГц с уровнем ФШ на отстройке 1 Гц не более 115 дБ/Гц.

Для более простых применений предлагаются термокомпенсированные кварцевые микрогенераторы ГК176-ТК с низким уровнем ФШ и габаритными размерами 5×7 мм или 3×5 мм. Данные микрогенераторы могут поставляться как

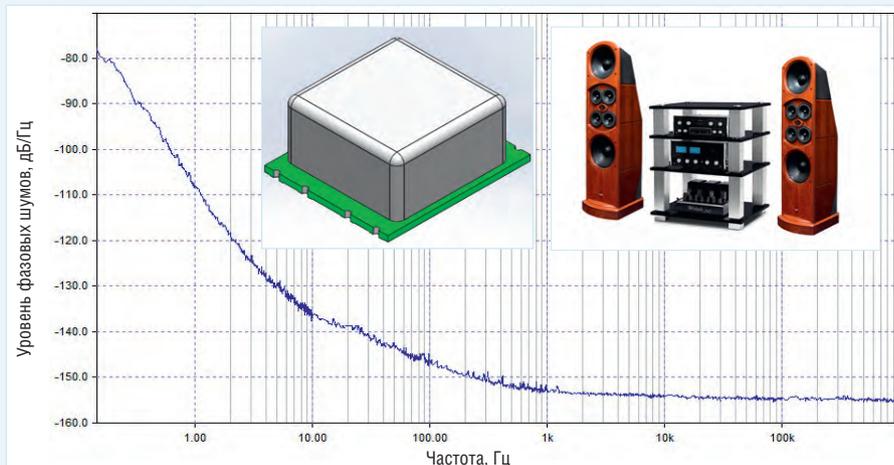


График фазовых шумов кварцевого генератора на частоту 22,5792 МГц

на вышеперечисленные частоты, так и на другие.

Выпускаемые АО «МОРИОН» кварцевые генераторы используются многими ведущими фирмами-производителями высококачественной аудиоаппаратуры из разных стран (Европа, США, Япония и др.).

Всю дополнительную информацию по данным изделиям и консультации можно получить по телефону +7 (812) 775-95-65, а также на сайте АО «Морион».

www.morion.com.ru
morion@morion.com.ru
 +7 (812) 350-75-72
 +7 (812) 350-92-43

Компания «Адвантикс» пополнила линейку промышленных серверов новыми моделями GS-212C-S2 и GS-208C-E1

Компания «Адвантикс» – российский производитель промышленных компьютеров – выпустила абсолютно новые модели серверов GS-212C-S2 и GS-208C-E1. Оба изделия построены на базе актуальных и доступных комплектующих, демонстрируют хорошую масштабируемость и высокую отказоустойчивость. Обладая широким набором функциональных характеристик, они являются оптимальными платформами для гибкого конфигурирования и применения в высоконагруженных сервисах.

GS-208C-E1 – однопроцессорный высокопроизводительный сервер с предустановленным

многоядерным процессором Intel® Xeon® E3-1200v5 (Skylake). Его дисковая подсистема позволяет установить до 8×3,5" и до 2×2,5" (без горячей замены) дисков SATA 6GBs / SAS 12GBs. Для повышения отказоустойчивости используется блок питания с резервированием и горячей заменой модулей. Поддерживается удалённое управление (IPMI 2.0) по выделенному порту Ethernet. Сервер подойдёт для высокопроизводительных вычислений и хранения больших объёмов данных, при этом он характеризуется низким энергопотреблением и удобством управления.

GS-212C-S2 – двухпроцессорный сервер общего назначения на базе процессоров Intel® Xeon® Scalable второго поколения. Оперативная память включает 24 слота DDR4 LRDIMM общим объёмом до 3072 Гбайт, дисковая подсистема – до 12 дис-

ков 3,5"/2,5"HDD SATA (SAS) с горячей заменой (Hot Swap). Поддерживается удалённое управление (IPMI 2.0) по выделенному порту.



Оба сервера выполнены в форм-факторе 2U для установки в телекоммуникационную стойку. Высокая доступность компонентов, оптимальные сроки поставки и конкурентная цена делают новые модели востребованным решением как для конечных пользователей, так и для системных интеграторов.

www.prosoft.ru/products/brands/advantix/info@prosoft.ru
 +7 (495) 234-06-36

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Представлена новейшая версия Delta Design 3.6

Компания «ЭРЕМЕКС» постоянно совершенствует САПР электроники Delta Design: расширяет возможности системы, дорабатывает и оптимизирует уже имеющиеся функции.

Пользователи Delta Design неоднократно обращались к разработчикам ЭРЕМЕКС с просьбой добавить в систему возможность работы с гибко-жесткими печатными платами. Более года функционал находился в разработке и в итоге был реализован в новой версии 3.6. Для этого

был обновлён редактор слоёв, добавлены новые конструктивные элементы и материалы. Также были реализованы новые объекты – стеки, описывающие конструкцию гибких и жестких частей печатной платы. Разработаны новые инструменты формирования границы платы, учитывающие особенности гибко-жестких конструкций. Для озонакпления с новым функционалом были добавлены демопроектны гибко-жестких плат и разработана пользовательская документация.

Помимо этого, в новой версии Delta Design 3.6 обновлён мастер установки си-

стемы. Он стал более информативным, появились новые настройки.

В интегрированную систему аналогового моделирования SimOne добавлены дисперсионные линии задержки.

Были внесены доработки и исправления в менеджер библиотек, схемотехнический редактор, редактор печатных плат, режим топологической трассировки TopoR.

<https://www.eremex.ru/info@eremex.ru>
 +7 (495) 232-18-64

НОВОСТИ МИРА

ДИЗАЙН-ЦЕНТР «АНАЛОГОВЫЕ РЕШЕНИЯ» ВОШЁЛ В ЧИСЛО РЕЗИДЕНТОВ ОСОБОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (ОЭЗ) «ТЕХНОПОЛИС «МОСКВА»

Компания занимается производством полупроводников для современной электроники на площадке «Ангстрем» ОЭЗ в Зеленограде, сообщили в пресс-службе департамента инвестиционной и промышленной политики Москвы.

«Аналоговые решения» выпускают полупроводниковые изделия, включая кристаллы для СВЧ и ВЧ диодов, а также быстродействующих транзисторов и диодных матриц. Эти кристаллы эффективно работают в радио- и метеолокации, а также в применении на сверхвысоких частотах, на которых функционируют системы ГЛОНАСС, GPS, GSM.

Ранее АБН сообщило, что резидент особой экономической зоны (ОЭЗ) «Технополис Москва», группа компаний «Микрон», запустила в серийное производство NFC-метки для использования в системе быстрых платежей (СБП).

Руководитель городского департамента инвестиционной и промышленной политики Владислав Овчинский заявил, что в столице микроэлектроникой занимаются 48 организаций, на которых занято более десяти тысяч человек. Они работают над инновационными технологическими решениями, а также ведут разработку новой уникальной продукции. Так, резидент ОЭЗ «Технополис «Москва» изготовил и освоил производство NFC-метки, которая может использоваться в системах быстрых платежей. Она соответствует всем существующим стандартам безопасности, устойчива к механическим повреждениям и не требует специального считывателя.

echemistry.ru

НОКИА И ERICSSON ОКОНЧАТЕЛЬНО УХОДЯТ ИЗ РОССИИ

Финская компания Nokia, являющаяся одним из крупнейших производителей телекоммуникационного оборудования, окончательно прекратит деятельность на территории России. О намерении покинуть рынок России Nokia заявляла ещё в апре-

ле. Теперь же компания подтвердила своё намерение, сообщив, что российский сегмент бизнеса будет свёрнут в течение нескольких месяцев.

«К концу года подавляющее большинство наших сотрудников в России покинут Nokia, и мы освободим все наши офисы. Мы сохраним официальное присутствие в стране до тех пор, пока не будет завершено юридическое закрытие», – прокомментировал данный вопрос представитель Nokia.

Также стало известно, что шведский производитель телекоммуникационного оборудования Ericsson тоже свернёт свою деятельность в России уже в ближайшие месяцы.

Уход Nokia и Ericsson может оказаться болезненным для российских сотовых операторов. Эти компании вместе с Huawei, которая тоже ограничила поставки в Россию, являются одними из ключевых поставщиков телекоммуникационного оборудования. Возможно, выправить ситуацию получится путём параллельного импорта. Кроме того, в России разрабатывается своё отечественное телекоммуникационное оборудование.

russianelectronics.ru



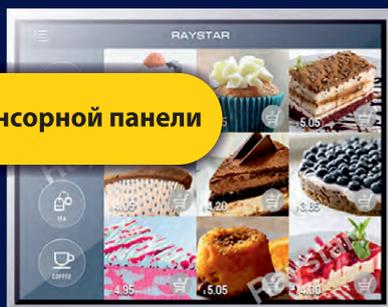
RAYSTAR
OLED Display Provider

10.4" TFT 1024 X 768 IPS (LVDS)

С расширенным температурным диапазоном от -30°C до $+80^{\circ}\text{C}$



Без сенсорной панели



С сенсорной панелью



Komponenta® Официальный дистрибутор Raystar в России



8 495 150 2 150



www.komponenta.ru



info@komponenta.ru

Интервью с генеральным директором АО «Завод «Снежеть» на выставке «Экспоэлектроника-2022»

«Экспоэлектроника» является крупнейшей российской выставкой электронных компонентов, модулей и комплектующих. Уже 24 года «Экспоэлектроника» носит статус ведущей выставки электронной отрасли. На ней широко представлены электронные, полупроводниковые, электромеханические, пассивные компоненты, печатные платы и микросхемы, дис-

плеи, встраиваемые системы и многое другое.

В этом году выставка традиционно проводилась при государственной поддержке и привлекла ведущих лидеров электронной отрасли. На «Экспоэлектронике-2022» редакция журнала взяла интервью у многих представителей наиболее перспективных компаний – производителей электронных компо-

нентов, ролики с участием которых вы можете смотреть на нашем YouTube-канале. Одной из наиболее запоминающихся встреч стала беседа с генеральным директором АО «Завод «Снежеть» **Кристиной Дунаевой.**

– Для нас, в первую очередь как производителя ЭКБ, это действительно непростое время. С одной стороны, конечно, сложный период ввиду санкционных запретов, но оптимальный для роста и развития. Поэтому в текущем году участие в отраслевых мероприятиях для нас особенно актуально. Мы видим, что наши заказчики сейчас уже иначе смотрят и реагируют на отечественных производителей внутри страны, особенно проявляют интерес ко всем анонсированным разработкам. Особенно обращают внимание на все новинки, которые мы последние годы у себя на предприятии и конструировали, и проектировали, и, естественно, запускали серийное производство. Участие в «Экспоэлектронике» даёт возможность найти новые пути взаимодействия внутри холдингов предприятий по разным отраслям нашей промышленности, даёт дополнительные возможности открыть для себя новые перспективные направления в производстве электроники и не только. Надеемся, что уже в следующем году мы сможем порадовать наших заказчиков новыми серийными изделиями.

– С какими запросами приходят в основном к вам сейчас?

– Самый топовый вопрос – какие разъёмы мы можем заменить, являются ли они прямым аналогом, каковы сроки поставки; насколько наши цены отличаются от европейского и азиатского рынков. Все пытаются в максимально сжатые сроки провести замену импорту, приобрести новую для предприятия продукцию с минимальными трудовыми и финансовыми затратами. На многих промышленных предприятиях, естественно, требуются дополнительные испытания новой продукции, что серьёзно увеличивает время исполнения заказа для конечного потребителя.



К.В. Дунаева – генеральный директор АО «Завод «Снежеть»



Экспозиция АО «Завод «Снежесть» на выставке

– То есть наши потребители уже не возлагают такие большие надежды на Китай, на Азию в плане замены, а смотрят куда больше в сторону отечественных производителей?

– Естественно, желание продолжать работу с Азией, Китаем и Европой и Соединёнными Штатами присутствует. Но есть определённые нюансы в отношении ценового диапазона и номенклатурной линейки, логистики. Продолжительное время, возможно, в силу привычки, многие предприятия закупали комплектующие у зарубежных компаний. Но благодаря встречам разработчиков, производителей и потребителей на совместных отраслевых мероприятиях участники рынка познакомились ближе. Мы встречаемся на форумах, обсуждаем актуальные вопросы на конференциях и семинарах. Выставка – тоже удобная площадка для взаимодействия. Многие клиенты обращаются к нам с вопросом, можно ли провести аудит, посмотреть на нашу производственную площадку, используем ли мы импортное сырьё, независимы ли мы? Да, мы независимы, «Снежесть» – завод полного производственного цикла, мы работаем с проверенными отечественными поставщиками сырья и металлов.

– То есть ваше предприятие без обмана, честно производит всё полностью из отечественных комплектующих, материалов? То есть вы абсолютно не зависите ни от каких внешних рынков?

– Конечно, но мы прекрасно понимаем, что даже внутри страны некоторые преграды остаются, но хотя бы нет рисков по срокам поставок и наличию.

– Я сам с удивлением для себя узнал, что «Снежесть» производит ещё и разьёмы для пневматики и гидравлики. Всегда думал, что вы производите только электротехнические разьёмы: радиотехнические, например. Эта продукция в общем объёме большую долю занимает?

– На сегодняшний день выпуск быстроразъёмных гидравлических соединителей занимает не столь большую долю в целом на предприятии. Но в этом новом для нас проекте мы видим для себя огромный потенциал. В настоящее время на территории нашей страны подобные соединения категории качества ВП не производятся. Сегодня АО «Завод «Снежесть» – единственное предприятие, которое на эту работу нацелено. Мы открыли ОКР, в текущем году мы планируем их закрыть. Гражданским предприятиям мы уже поставляем БРС, у предприятия неплохие результаты по текущим задачам, которые мы ставили для себя в реализации этого проекта. Надеемся, что в 2023 году мы значительно расширим базу потребителей как в гражданском секторе, так и среди предприятий военной отрасли.

– А кто потребители этих разьёмов?

– Гидравлические БРС или жидкостные соединители чаще применяют в системах охлаждения. Один из основных

заказчиков – концерн «Алмаз-Антей». Также в гражданской авиации их широко используют. Быстроразъёмные соединения применяют во многих отраслях.

– Какие планы у вас по расширению ассортимента? По импортозамещению?

– Наш вектор развития – наращивание объёмов по новым направлениям. Например, активно развиваемся в проектировании и производстве штампов и пресс-форм. В это направление мы в прошлом году вложили максимальный инвестиционный портфель, а в этом году мы уже пытаемся максимально загрузить новое оборудование. Гидравлические разьёмы ещё вчера ни у кого не ассоциировались с заводом «Снежесть», и уж тем более никто не предполагал, что они будут производиться с военной приёмкой в короткие сроки, с претензией на европейский уровень качества. При этом, конечно же, мы не оставляем без внимания и другие потребности клиентов. Сейчас выполняем ряд сторонних проектов по заявкам потребителей на воспроизводство абсолютно новых изделий по их требованиям, в том числе и в рамках импортозамещения. Мы не останавливаемся на достигнутом: расширяемся, анализируем, делаем выводы. Направления роста диктует рынок. Мы ориентируемся на крупных игроков, и от того, насколько правильно работаем мы со своей стороны, заказчики с их стороны, и зависит развитие нас как предприятия и отрасли в целом.



Магнитно-резонансная томография и радиочастотные соединители

Кива Джурицкий (kbd.istok@mail.ru)

В статье рассмотрены физические основы магнитно-резонансной томографии для диагностики внутренних органов человека. Приведено квантовое представление ядерно-магнитного резонанса, лежащего в её основе. Описано устройство магнитно-резонансного томографа. Сформулированы требования к радиочастотным соединителям и кабелям, применяемым в рабочей зоне томографа. Показана необходимость применения в томографах немагнитных соединителей и кабелей. Рассмотрены основные типы немагнитных радиочастотных соединителей зарубежных компаний.

1. Из истории МРТ

Казалось бы, какая связь может быть между магнитно-резонансной томографией и радиочастотными соединителями? Оказывается, связь прямая: без специальных радиочастотных соединителей магнитно-резонансная томография высокого разрешения не может существовать.

Но сначала о самой магнитно-резонансной томографии. Магнитно-резонансная томография (МРТ) – это способ получения томограмм послойных изображений внутренних органов человека, основанный на явлении ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). Началом истории МРТ считается 1946 год, когда швейцарский физик Феликс Блох доказал, что ядро атома ведёт себя подобно магниту, а заряженная частица, такая как протон, вращается вокруг собственной оси и имеет магнитное поле [1–6].

Автором патента на способ сканирования тела человека с помощью ЯМР для медицинского исследования в начале 1970-х годов был американский учёный Раймонд Дамадьян. В 1977 году он и его помощники сконструировали первый сверхпроводящий ЯМР-сканер и впервые получили изображение тела человека. Одновременно подобные исследования в этой области проводили американский химик Пол Лаутербур и британский физик Питер Мэнсфилд. В 2003 году они стали лауреатами Нобелевской премии по медицине и физиологии за изобретение метода магнитно-резонансной томографии, позволяющего исследовать внутренние органы и ткани человека, не прибегая к оперативному вмешательству и рентгеновскому облучению [1, 2].

С начала 1980-х годов производители оборудования для получения медицинских изображений начали разрабатывать и производить магнитно-резонансные (МР) сканеры. Неинвазивный метод магнитно-резонансной томографии позволяет получать точные и чёткие изображения виртуальных срезов тканей и внутренних органов человека без вторжения в его тело.

Объектом исследования могут быть разные органы и ткани: центральная нервная система, суставы, сердце, печень, лёгкие и другие внутренние органы, а также сосудистая и периферическая нервная системы. Наиболее частый объект исследования при проведении МРТ – это головной мозг.

В современной диагностике магнитно-резонансная томография является одним из самых точных диагностических методов обнаружения новообразований, патологий сосудов, патологий нервов и нервных узлов, внутренних гематом и кровоизлияний и пр. Появляются всё более совершенные томографы, повышается точность и сокращается продолжительность исследования. Открылись новые возможности применения МРТ в ангиографии, функциональной диагностике и сканировании для получения чётких изображений [6].

По сравнению с рентгеновскими исследованиями и компьютерной томографией, в которых применяют рентгеновское излучение, МРТ достаточно безопасна для человека, так как использует только магнитное поле и радиоволны слабой интенсивности.

2. Физические основы МРТ

Хотя магнитно-резонансная томография (MRI в английском языке)

использует явление ядерного магнитного резонанса, от слова «ядерный» в её названии решили избавиться, чтобы не пугать людей, так как с бомбами или радиоактивными элементами периодической таблицы Менделеева ничего общего здесь нет.

ЯМР – это избирательное поглощение веществом электромагнитных волн определённой частоты, обусловленное изменением ориентации магнитного момента частиц вещества. Это квантовый эффект, при котором на вещество действуют магнитное и радиочастотное поля и происходит избирательное поглощение веществом электромагнитных волн определённой частоты.

Это квантовый эффект, при котором в основе ядерного магнитного резонанса лежит взаимодействие протонов водорода с внешним магнитным полем. Современные томографы настроены на ядра водорода – протоны. Ядро атома водорода содержит один-единственный протон, имеющий положительный заряд. В нём нет нейтронов. С помощью протона водорода можно изучать поведение спина (собственного момента импульса частицы, имеющей заряд) в магнитном поле. Спин – это квантово-механический параметр. В классической физике аналогом спина является вращательный момент. Протоны водорода имеют спин, равный $1/2$, который обуславливает появление магнитного момента ядра атома водорода.

Выбор протонов водорода в качестве объекта исследования обусловлен следующими соображениями. Биологическая среда – это в основном ядра атомов водорода (протоны). В теле человека 63% атомов водорода, которые содержатся в воде и жире, входящих в его состав. Водород в теле человека и других живых организмов занимает приблизительно 10% от общей массы [1–4].

Для лучшего понимания принципа ядерно-магнитного резонанса можно представить ядро в виде вращающегося волчка, который вращается вокруг собственной оси, и одновременно его ось вращения описывает окружность (рис. 1а) [2].

При отсутствии внешнего магнитного поля магнитные моменты протонов

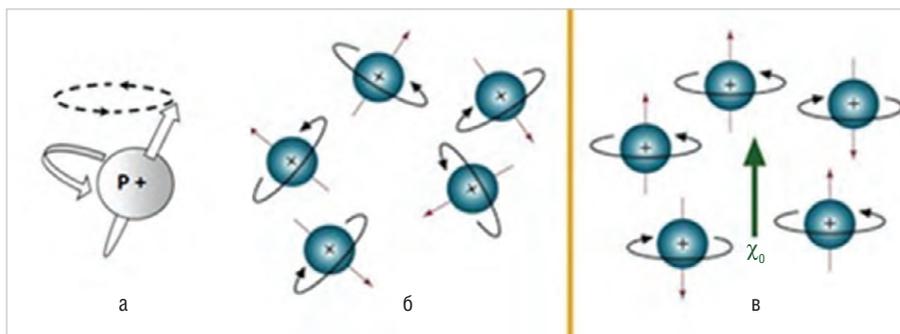


Рис. 1. Ориентация магнитных моментов протонов (а) при отсутствии магнитного поля (б), во внешнем магнитном поле (в)

ориентированы случайным образом, стрелки векторов направлены в разные стороны (рис. 1б). В сильном магнитном поле происходит возбуждение протонов, магнитный момент протонов ориентируется либо по направлению силовых линий магнитного поля, либо в противоположном направлении. При этом в состоянии равновесия большее количество протонов будет иметь меньшую энергию, а меньшее количество – большую энергию. Однако это различие небольшое. Количество избыточных протонов пропорционально величине магнитной индукции B (Тл, Тесла), характеризующей интенсивность магнитного поля. Превышающее количество протонов, ориентированных параллельно в поле с $B = 0,5$ Тл, составляет всего лишь 3 протона на миллион, в системе с $B = 1$ Тл – 6 протонов на миллион и при $B = 1,5$ Тл – 9 протонов на миллион. 9 протонов на миллион избыточных протонов не кажутся очень большим количеством, но, в действительности, они складываются в целое множество протонов, учитывая миллиарды протонов в теле человека [1].

Протон в магнитном поле может поглощать фотон с частотой ν , зависящей от её гиромангнитного отношения γ : $\nu = \gamma B$. Величину ν называют резонансной частотой Лармора. Для водорода $\gamma = 42,57$ МГц/Тл. Поэтому для магнитной индукции 1,5 Тл резонансная частота равна 63,855 МГц, для индукции 3 Тл – 127,7 МГц. В ЯМР, используемом в медицине, резонансная частота Лармора находится в пределах 15–80 МГц, т.е. располагается в радиочастотном диапазоне [1–3].

Частота Лармора – важнейший параметр, необходимый для определения рабочей частоты МРТ системы. Посылаемый радиочастотный (РЧ) импульс должен иметь частоту, равную резонансной частоте Лармо-

ра (эта частота безопасна для человека). Именно поэтому метод был назван магнитно-резонансной томографией. Только протоны, вращающиеся с частотой РЧ-импульса, реагируют на этот РЧ-сигнал. Если воздействовать импульсом другой частоты, ничего не произойдёт [1, 2, 7].

Протон может подвергаться переходу между двумя энергетическими состояниями. На нижнем энергетическом уровне частица поглощает фотон и переходит на верхний энергетический уровень. Энергия протона E связана с его частотой через постоянную Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с: $E = h\nu$. Так как $\nu = \gamma B$ и $E = h\nu$, для того, чтобы вызвать переход между двумя энергетическими состояниями, фотон должен иметь энергию $E = h\nu$.

Сигнал ядерного магнитного резонанса возникает в результате взаимодействия радиоволн с веществом. Радиоволны можно рассматривать как кванты энергии. Если воздействовать на протоны радиочастотным излучением резонансной частоты, то в результате поглощения квантов энергии происходит квантовый переход протонов с низкого энергетического уровня на более высокий энергетический уровень (в возбуждённое состояние). При отключении радиосигнала происходит процесс релаксации: протоны возвращаются в прежнее состояние и излучают энергию в виде электромагнитного излучения (кванта). Это и есть ЯМР – сигнал, который регистрируется томографом.

3. Устройство магнитно-резонансного томографа

В зависимости от величины индукции магнитного поля различают несколько типов томографов: до 0,1 Тл – сверхнизкопольный томограф; 0,1–0,5 Тл – низкопольный; 0,5–1 Тл – среднепольный; 1–2 Тл –



Рис. 2. Внешний вид типичного МР-томографа

высокопольный; более 2 Тл – сверхвысокопольный.

Внешний вид магнитно-резонансного томографа (МР-томографа) показан на рис. 2 [6]. Он состоит из следующих основных блоков: магнита, градиентных, радиочастотных (РЧ) и шиммирующих катушек, охлаждающей системы, систем приёма, передачи и обработки данных, системы экранирования. Магнит, создающий сильное устойчивое магнитное поле, является основной частью МР-томографа. Известны магниты следующих видов: постоянные, резистивные, сверхпроводящие и комбинированные. Постоянные магниты состоят из сплавов, которые обладают свойствами ферромагнетиков. Они не требуют энергии и систем охлаждения для поддержания магнитного поля. В больших объёмах удаётся создать магнитные поля с индукцией до 0,35 Тл. В резистивных магнитах поле создаётся в результате пропускания сильного электрического тока по проводу, намотанному на железный сердечник. Индукция поля таких МРТ немного больше 0,6 Тл. Но эти томографы нуждаются в охлаждении и в постоянном электропитании. В гибридных системах для создания магнитного поля используются и проводящие ток катушки, и постоянно намагниченный материал.

Для создания полей с индукцией свыше 0,5 Тл необходимы сверхпроводящие магниты, которые дают однородное и стабильное во времени магнитное поле. Структура сверхпроводящего магнита показана на рис. 3 [6].

Структурная схема МР-томографа со сверхпроводящим магнитом показана на рис. 4 [8, 9].

Катушки такого магнита помещают в кожух с жидким гелием при температуре 4,2 К (-269°C). Кожух, в свою очередь, окружён охлаждающим контуром с

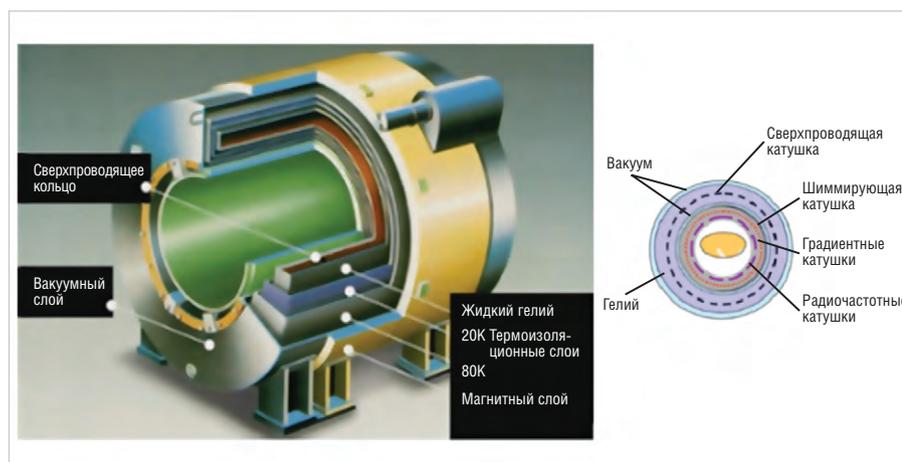


Рис. 3. Структура сверхпроводящего магнита

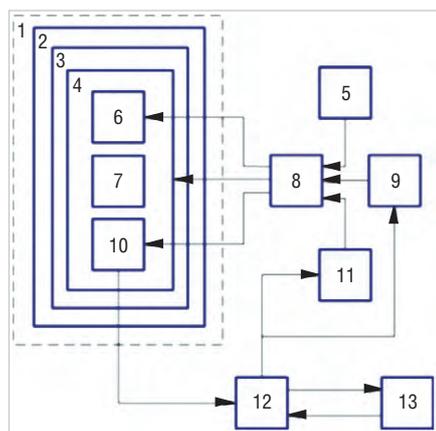


Рис. 4. Структурная схема МР-томографа со сверхпроводящим магнитом.

1 – экранирующая камера, 2 – кожух с жидким азотом, 3 – кожух с жидким гелием, 4 – сверхпроводящий магнит, 5 – источник первичного импульса, 6 – градиентные катушки, 7 – радиочастотные катушки, 8 – блок фильтрации, 9 – источник питания градиентной катушки, 10 – предварительный усилитель, 11 – радиочастотный передатчик, 12 – крейт, 13 – ПЭВМ

жидким азотом при температуре 77,4 К (–196 °С). Проводники катушек из ниобий-титанового сплава, находящиеся в жидком гелии, становятся сверхпроводниками, их сопротивление становится равным нулю. Такие магниты потребляют мало электроэнергии и позволяют без потерь пропускать большие токи. Поэтому для запуска магнита достаточно подать в его обмотку импульс тока и затем замкнуть накоротко внешнюю цепь. После этого ток в катушках магнита может циркулировать годами.

Внутри магнита расположены градиентные катушки. Градиентные катушки позволяют создавать дополнительные магнитные поля, накладывающиеся на основное магнитное поле. Благо-

даря своей конфигурации они создают управляемое и однородное линейное изменение поля в определённом направлении. За счёт добавления к общему однородному магнитному полю градиентного магнитного возмущения обеспечивается локализация ЯМР-сигнала и селективное возбуждение протонов в необходимой области диагностирования. Кстати, градиентные катушки являются причиной характерного громкого стука в томографе во время обследования пациента. Причина этого – вибрация металлических спиралей градиентных катушек, вызванная частыми и короткими импульсами тока. Интенсивность издаваемых звуков тем выше, чем больше магнитная индукция поля томографа. В томографах с индукцией 3 Тесла звук может достигать 120 децибел, что сравнимо с шумом оживлённой автомобильной трассы.

Радиочастотные (РЧ) катушки служат излучателями полей и приёмниками радиочастотной энергии от исследуемого объекта. По характеру выполняемых операций существуют радиочастотные катушки трёх типов: приёмно-передающие, принимающие и передающие РЧ-сигнал. Передающая катушка генерирует сигналы резонансной частоты и модулирует ими импульсы магнитного поля. Приёмно-передающие катушки служат излучателями радиочастотного поля и приёмниками радиочастотного импульса от отображаемого объекта. Принимающая катушка принимает МР-сигнал от отображаемого объекта и передаёт этот сигнал в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП отправляет данные в цифровом виде на операторский компьютер для реконструкции изображения.

Любая радиочастотная катушка должна резонировать или эффективно накапливать энергию на частоте Лармора.

Шиммирующие катушки с малым током создают дополнительные магнитные поля для компенсации неоднородности главного магнитного поля томографа, вызванной дефектами магнита или присутствием внешних ферромагнитных объектов.

МР-томограф устанавливают в экранированной комнате для его защиты от различных внешних РЧ-сигналов, например, сигналов теле- и радиостанций. Экранирование предотвращает также распространение сильного магнитного поля за пределы комнаты. Тем не менее помехи проникают и вносят искажения в МР-томограммы. РЧ-сигналы, получаемые от тканей организма, сравнимы по величине с электромагнитными колебаниями, приходящими из эфира, которые составляют десятки микровольт. Помехи могут проникать также по электросети. Для их подавления все источники питания главного магнита, градиентной системы и передатчика снабжены фильтрами помех. Для этой же цели предусмотрен предварительный усилитель РЧ-сигнала, расположенный в непосредственной близости от РЧ-катушки. Предварительно усиленный РЧ-сигнал с минимальными помехами поступает в крейт (электронный блок управления), где дополнительно усиливается.

Компьютер контролирует все компоненты томографа. Под его контролем находится источник РЧ-импульсов и программатор. Источник генерирует синусоиду нужной частоты. Программатор придаёт импульсам необходимую форму. РЧ-усилитель увеличивает мощность импульсов от милливольт до киловатт. Компьютер также управляет программатором градиентных импульсов, который определяет вид и амплитуду каждого из трёх градиентных полей. Градиентный усилитель увеличивает мощность градиентных импульсов до уровня, достаточного для управления параметрами ЯМР-сигнала с помощью градиентных катушек.

4. Факторы, влияющие на информативность МР-изображений

Магнитная индукция поля является важнейшим параметром МР-томографа. Чем она меньше, тем уже диа-

пазон применимости томографа. Принципиальное отличие томографов с разной магнитной индукцией состоит в детализации и чёткости получаемых томограмм. В качестве примера на рис. 5 показаны томограммы головного мозга, полученные при магнитной индукции 1,5 и 3 Тл [10].

Томограмма низкого разрешения не позволяет выявить начальную патологию, например небольшую опухоль. Кроме того, влияют артефакты МРТ (от лат. artefactum – искусственно сделанное) – искусственные погрешности в процессе МРТ-исследования, значительно ухудшающие качество изображения. Артефакты оказывают негативное влияние на возможности адекватной оценки изображения экспертом (снижают информативность), а также могут создавать иллюзию патологии.

Существует много причин артефактов, но главной причиной является наличие в рабочей зоне томографа ферромагнитных металлических объектов, которые создают собственное магнитное поле и вызывают неоднородность основного магнитного поля. В результате этого изменяется частота прецессии протонов водорода, происходит локальная потеря сигнала и искажение изображения. По этой причине существуют ограничения в обследовании пациентов с металлическими кардиостимуляторами, стентами, зубными протезами и имплантатами.

Далее переходим к радиочастотным соединителям и их роли в МРТ.

5. Требования к радиочастотным соединителям и кабелям для МРТ

5.1. Немагнитность соединителей

В зоне действия основного магнитного поля МР-томографа используется большое количество радиочастотных соединителей, контактов, катушек и кабелей для передачи и приёма импульсных радиочастотных сигналов. Соединители и кабельные сборки необходимы для электрической связи радиочастотных передатчиков и приёмников внутри градиентных катушек, которые подвергаются воздействию магнитного поля внутри томографа. Кроме того, они передают радиочастотные сигналы в систему МРТ. Их используют также внутри объёмных и поверхностных радиочастотных катушек. Многоканальные радиочастотные катушки могут

при этом иметь до 32 поверхностных катушек [10].

Если бы в МР-томографе были применены соединители, изготовленные из магнитных материалов, то в них при приложении магнитного поля с напряжённостью H внутри материала соединителя появлялась бы намагниченность M :

$$M = \chi H,$$

где χ – магнитная восприимчивость.

Намагниченность соединителя генерирует возмущающее поле с напряжённостью H_1 , которое искажает основное магнитное поле [11, 12]. При этом напряжённость возмущающего поля H_1 зависит не только от магнитной восприимчивости материала соединителя, но и от расстояния между ним и точкой, в которой измеряется магнитное поле, и от размеров соединителя. Для крупных соединителей H_1 больше, чем для миниатюрных соединителей. Чем меньше величина χ и чем ближе к единице магнитная проницаемость, тем меньше соединитель возмущает внешнее магнитное поле (тем он прозрачнее для поля). Поэтому для изготовления немагнитных радиочастотных соединителей непригодны суперпарамагнитные и тем более ферромагнитные металлы. В качестве конструкционных металлов и покрытий в немагнитных соединителях применяют только металлы с магнитной проницаемостью, близкой к единице [13].

Возмущающее поле значительно ухудшает качество получаемых томограмм, поэтому основное требование к радиочастотным соединителям для МРТ – это немагнитность. Это означает, что магнитная восприимчивость материала соединителя должна быть как можно меньше, а более привычный параметр – относительная магнитная проницаемость $\mu = 1 + 4\pi\chi$ – как можно ближе к единице. Чем ближе к 1 относительная магнитная проницаемость материалов соединителя, тем он более прозрачен для магнитного поля и тем меньше влияет на него. Поэтому для изготовления соединителей для МР-томографов применяют материалы с исключительно низким уровнем магнитных свойств [14].

Корпуса и центральные проводники соединителей изготавливают из отобранных прутков латуни и бериллиевой бронзы с относительной магнитной проницаемостью менее 1,0001, прошедшие 100% контроль на магнитометре. Немагнитную аустенитную

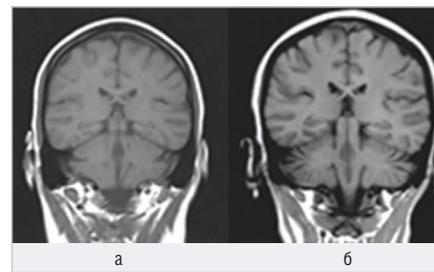


Рис. 5. Томограммы, полученные при магнитной индукции: а) 1,5 Тл, б) 3 Тл

нержавеющую сталь не рекомендуется применять для изготовления корпусов соединителей. При деформации эта сталь приобретает слабые ферромагнитные свойства в результате частичного распада аустенитного γ -раствора и выделения магнитной α -фазы [15]. Цанговый проводник соединителей всегда изготавливают из термически упрочнённой бериллиевой бронзы. Материалом изолятора чаще всего является фторопласт.

Требование немагнитности предъявляется также и покрытиям поверхности деталей соединителей [15]. Основным покрытием корпусов соединителей является золото толщиной 0,5–1,5 мкм по подслою меди. Для этой цели применяют также сплав «белая бронза»: медь (55%), олово (25–30%), цинк (15–20%) толщиной до 4 мкм. В немагнитных соединителях недопустимо применение магнитного гальванического никеля в качестве основного покрытия и барьерного слоя под другие покрытия. Вместо гальванического никеля применяют химически осаждённый никель, являющийся сплавом никеля с 10–13,5% фосфора. Он имеет аморфную структуру и немагнитен. Так, например, компания Rosenberger применяет покрытие AuroDur: 0,15 мкм золота поверх химически осаждённого никеля толщиной 2–3 мкм. Компания Radiall использует аналогичное покрытие NPGP. Цанговые контакты соединителей всегда покрывают немагнитным износостойким сплавом золото-кобальт.

5.2. Низкий уровень потерь

В настоящее время созданы МР-томографы, в которых для улучшения разрешения и увеличения отношения сигнал/шум значительно увеличена индукция магнитного поля: с 1,5–3 Тл до 7 или даже до 10 Тл. Одним из важных последствий увеличения индукции магнитного поля является более высокая рабочая частота

Таблица 1. Типы радиочастотных соединителей для МРТ, выпускаемых зарубежными компаниями

Тип соединителя	Компании							
	Radiall	Rosenberger	Molex	Emerson/ Johnson	Phoenix	Samtec	Amphenol / SV Microwave	JC
SMA	+		+	+	+	+	+	+
QMA		+	+					
SMB	+		+	+	+	+	+	+
SMC			+	+	+			
MCX	+	+	+	+	+	+	+	+
MMCX	+		+	+	+	+	+	+
SMP	+	+	+	+				+
SMPM			+	+			+	
BNC	+		+		+			
N			+	+	+			
2/92 mm				+				

та (частота Лармора) радиочастотно-го воздействия. Широко распространённые системы МРТ с индукцией 1,5 Тл и 3 Тл работают на частоте 63,9 МГц и 127,7 МГц соответственно. Системы с индукцией 7 Тл работают на частоте 298 МГц. На первый взгляд, эти частоты могут показаться незначительными. Однако вносимые потери, ключевой параметр коаксиальных соединителей, являются функцией квадратного корня от частоты. Следовательно, потери при передаче на частоте 298 МГц при той же длине кабельной сборки приблизительно на 50% больше, чем на частоте 127,7 МГц. В дополнение к этому потери в соединении рассеиваются в виде тепла. Повышение температуры нарушает режим работы томографа и может привести к снижению надёжности его работы. Поэтому в МР-томографах необходимо применять радиочастотные соединители с низким уровнем потерь.

Наряду с исключительно низким уровнем магнитных свойств (магнитная проницаемость менее 1,0001) и низким уровнем потерь к соединителям предъявляются следующие требования [15]:

- низкий уровень пассивной интермодуляции – менее 160 дБс;
- уровень электрических и механических параметров должен быть не ниже, чем у стандартных аналогов;
- большой срок службы и высокая надёжность;
- соответствие требованиям директивы RoHS о запрете свинца и других вредных веществ.

Контроль качества соединителей осуществляют на каждой операции технологического процесса, начиная с материала и заканчивая готовыми соединителями.

Следует отметить, что герметичность соединителей для МРТ не регламентируется. Это значительно облегчает выполнение требования немагнитности соединителей, так как герметичность обеспечивается металлокерамическим спаем стекла с ферромагнитным железо-никель-кобальтовым сплавом «ковар».

5.3. Требования к радиочастотному кабелю

Радиочастотные кабели для МРТ, так же как и соединители, должны быть немагнитными. В стандартных кабелях (RG174, RG179, RG187, RG316, Sucoform_86 и др.) внутренний проводник состоит из стальных провололок, покрытых медью или серебром. Внутренний проводник немагнитных кабелей (Multiflex_86, Aircell-5, RG316 Habia и др.) выполнен из чистой меди. Немагнитные огнестойкие кабели выпускают Leoni (Германия), Radiall (Франция), Times Microwave Systems (США) и многие другие компании.

Для стандартного гибкого кабеля минимальный радиус изгиба в 6–10 раз превышает общий диаметр кабеля. Чтобы уменьшить радиус изгиба, в технике МРТ применяют кабели с многожильным центральным проводником, экраном из фольги и вспененным диэлектриком. Хотя кабели с многожильным центральным проводником с большим количеством жил имеют более высокие потери, увеличение срока службы и надёжности соединений перевешивает некоторое увеличение потерь.

Для соединения различных систем МР-томографа применяют кабельные сборки, которые приходится устанавливать в ограниченном пространстве. Более гибкий кабель с минимальным радиусом изгиба предотвращает

повреждение кабеля при необходимости его плотной укладки и сокращает время монтажа сборки [11].

6. Типы немагнитных радиочастотных соединителей, выпускаемых зарубежными компаниями

Совершенствование МР-томографов зависит от параметров соединителей, используемых для передачи радиочастотных импульсов, и требует всё большего количества миниатюрных соединений [10]. Необходимо учитывать, что с уменьшением размеров соединителей возрастает их предельная рабочая частота и уменьшается искажение основного магнитного поля, но одновременно снижается мощность передаваемого сигнала и возрастают потери в соединителе. Поэтому в томографах в зависимости от частоты, мощности сигнала, вносимых потерь и возможности установки используются большие (N, BNC), средние (SMA, QMA, 2,92 mm) и миниатюрные соединители (SMB, SMC, MCX, MMCX, SMP, SMPM) различных конструктивных модификаций. Однако следует учитывать, что применение резьбовых соединителей в ограниченном рабочем пространстве томографа может оказаться невозможным, так как резьбовые соединители требуют пространства при соединении вилки и розетки с помощью динамометрического ключа [12, 15].

Типы радиочастотных соединителей зарубежных компаний для МРТ представлены в табл. 1.

Radiall

Французская компания Radiall (www.radiall.ru) создала серию немагнитных радиочастотных соединителей, названных Coaxi-Core, для применения в магнитно-резонансных томографах. Соединители этой серии: вилки и розетки, прямые и угловые, для монтажа в отверстия печатных плат, а также кабельные соединители для заделки обжимом гибкого кабеля изготовлены из бериллиевой бронзы и покрыты золотом по подслою меди. Покрытие центральных проводников соединителей – золото по подслою меди. Корпуса соединителей покрыты диамагнитным медно-цинковым сплавом без золотого покрытия – BBR или с золотым покрытием – GBR. Магнитная восприимчивость соединителей Coaxi-Core в десятки раз меньше, чем у стандартных немагнитных соединителей (табл. 2 [14]).

Таблица 2. Относительное возмущение магнитного поля с индукцией 1,5 Тл разными соединителями на расстоянии 10 мм от поверхности соединителя

Вид соединителя	H1/H	Магнитная восприимчивость, χ
Немагнитный соединитель компании Radiall	$\leq 5 \cdot 10^{-7}$	$\approx 10^{-5}$
Стандартный немагнитный соединитель других компаний	$\approx 10^{-5}$	$\approx 10^{-3}$
Латунный соединитель с никелевым покрытием	$\approx 10^{-4}$	$\approx 10^{-2}$

Отношение H_1/H для соединителей Coaxi-Core в 100 раз меньше, чем для стандартных немагнитных соединителей, и в 1000 раз меньше, чем для соединителей с никелевым покрытием. При этом намагниченность соединителей Coaxi-Core не зависит от температуры и их расположения в магнитном поле.

Rosenberger

Ассортимент продукции немецкой компании Rosenberger (www.rosenberger.com) включает немагнитные коаксиальные соединители SMP, MCX, QMA всех модификаций, а также Insert Coax 1.0-2.3 DIN, прямые подпружиненные контакты SLC вилка для установки кабеля обжимом, многоканальные угловые модули Insert Mini-Coax и кабельные сборки с перечисленными соединителями. По специальному заказу могут быть изготовлены немагнитные соединители и любых других типов. Внешний вид немагнитных соединителей компании Rosenberger показан на рис. 6.

Molex

Компания Molex (www.molex.com), США, предлагает немагнитные версии практически всех типов радиочастотных соединителей, применяемых в MPT-технологии. Кроме указанных в табл. 1 соединителей эта компания выпускает немагнитные соединители 7/16 DIN, BMA, SSMCX, SMP-MAX/ 1.0/2.3 различных конструктивных исполнений. Магнитная проницаемость материалов соединителей компании Molex менее 1,0025.

Emerson/Johnson

Широкая линейка немагнитных радиочастотных соединителей с рабочей частотой от 0 до 65 ГГц американской компании Johnson изготовлена с



Рис. 6. Немагнитные соединители компании Rosenberger: 1 – угловая кабельная розетка SMP; 2 – прямая кабельная розетка SMP; 3 – вилка SMP для поверхностного монтажа; 4 – вилка SMP для монтажа в отверстия печатной платы; 5 – концевая вилка SMP; 6 – кабельный контакт SLC; 7 – прямая розетка QMA для поверхностного монтажа; 8 – прямая кабельная розетка QMA; 9 – угловая кабельная розетка QMA; 10 – 8-канальный модуль Insert Mini-Coax



Рис. 7. Соединители MCX и MMCX

использованием высокочистых медных сплавов. В качестве покрытия корпусов соединителей применено золото или сплав «белая бронза».

На рис. 7 показаны конструктивные исполнения соединителей MCX и MMCX компании Cinch Connectivity Solutions (www.belfuse.com/cinch), входящей в состав компании Johnson.

Phoenix Company of Chicago

Phoenix Company of Chicago (далее Phoenix, www.phoenixofchicago.com) является одним из ведущих производителей немагнитных соединителей для магнитно-резонансных томографов с индукцией магнитного поля 1,5–3 Тл. Phoenix выпускает немагнитные соединители типов MCX, MMCX, SMB, SMC, SMA, BNC, N, а также TNC и 7/16 и многовыводные низкочастотные соединители. В качестве покрытия эта компания применяет золото по подслою меди.

Samtec

Американская компания Samtec (www.samtec.com) выпускает немагнитные соединители 4 типов: MCX, MMCX, SMB, SMA и кабельные сборки на их основе. Общее число модификаций немагнитных соединителей этих типов 148.



Рис. 8. Соединители SMA и SMPM компании SV Microwave

Amphenol / SV Microwave

Компания Amphenol (www.amphenol.com), США, выпускает следующие немагнитные соединители для MPT (в скобках количество модификаций соединителей): MCX (5), MMCX (12) и SMB (4). Компания SV Microwave (www.svmicrowave.com), входящая в компанию Amphenol, предлагает по 5 модификаций соединителей каждого из двух типов SMA и SMPM (рис. 8).

Соединители изготовлены из материалов с магнитной восприимчивостью менее 10^{-5} . Предельная частота соединителей SMA 18 ГГц, соединителей SMPM – 65 ГГц.

JC Electronics Corporation

Японская компания JC Electronics (www.jcel.com) для применения в MPT предлагает соединители SMA, SMB, MCX, MMCX, SMP и 2.92 mm по 1–2 модификации каждого типа.

Кроме того, немагнитные соединители выпускают ещё ряд зарубежных компаний: Isotec Corporation, республика Корея, www.isoconnector.com; Chin Nan, Тайвань, www.chinnan.com.

tw; Coaxicom, США, www.coaxicom.com; Dongjin Ti, Китай, www.dongjinti.co.kr; Huber+Suhner, Швейцария, www.hubersuhner.com и ряд других компаний.

Заключение

В данной статье показаны основные типы радиочастотных соединителей, применяемых в томографах. Каждый радиочастотный соединитель имеет свой ресурс надёжной работы. В случае необходимости зарубежные соединители могут быть заменены отечественными аналогами. Они уже появились, но необходимо создать их немагнитные варианты. К тому же медицинская диагностическая аппаратура – это не единственная область применения немагнитных соединителей. Они, например, нашли применение в спутниковой аппаратуре для физических исследований. Поэтому создание класса немагнитных радиочастотных соединителей, несомненно, окажется полезной инициативой.

Литература

1. Блинк Э. Основы магнитно-резонансной томографии: Физика / пер. Е. Макаровой. 2000. 79 с. // URL: <https://www.studmed.ru>.
2. Хорнак Дж.П. Основы МРТ / пер. с англ. 2005.
3. Алешкевич А.И., Рожковская В.В., Сергеева И.И. и др. Основы и принципы лучевой диагностики. Минск: БГМУ, 2015. 60 с.
4. Аганов А.В. Введение в магнитно-резонансную томографию. Казань, 2014. 64 с.
5. Кэбин Э.И. Ядерная медицина. 2015. 25 с. // URL: http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuc_tech/med.
6. Черняев А.П., Волков Д.В., Лыкова Е.Н. Физические методы визуализации в медицинской диагностике. Библиотека медицинского физика. М.: МГУ, 2019 // URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/mpf>.
7. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. 132 с.
8. Разбираем магнитно-резонансный томограф. DIY, или Сделай сам. Электроника для начинающих // URL: <https://habr.com>.
9. Магниторезонансная томография // URL: <https://www.bibliofond.ru>.
10. What are Non-Magnetic RF Connectors? // Everything RF // URL: <https://www.everythingrf.com>.
11. Why MRI Machines and MRI-Compatible Medical Devices are Dependent on Non-Magnetic RF Connectors June 2019 // URL: www.belfuse.com/cinch.
12. Kai Loh, Powering MRIs: 3 RF interconnect considerations to save time and money // Times Microwave Systems. URL: <https://www.medicaldesignandoutsourcing.com>.
13. Non-Magnetic RF Connectors are Critical Enablers for Advanced MRI Technologies. March 2020 // URL: <https://connectorsupplier.com>.
14. Non-magnetic RF Connectors for MRI Applications – Radiall. 23 February 2022 // URL: <https://www.radiall.com>.
15. Джурицкий К.Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова, СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит», 2014. 

НОВОСТИ МИРА

Алюминиевые батареи могут стать идеальным накопителем энергии для человечества

Исследователи из швейцарского Института солнечных технологий собрали команду ученых из семи европейских стран и получили финансирование от фонда «Horizon Europe» для разработки перспективного проекта алюминиевых накопителей энергии. Проект получили название «Reveal», он направлен на решение ключевой проблемы зелёной энергетики – как и где запастись на зиму всю ту энергию, которую выработают ветряки и солнечные панели летом? Внимание учёных сегодня устремлено на окислительно-восстановительные процессы в металлах.

Согласно расчётам, чистый алюминий имеет удельную энергоёмкость 8,7 кВт·ч на 1 кг, а 1 куб. м алюминия может накопить 23,5 МВ·ч. Это в 33 раза больше, чем в лучших аккумуляторах электромобилей Tesla, и в 50 раз больше, чем в коммерческих литий-ионных батареях. Если раздробить алюминий на шарики диаметром 1 мм для удобства использования, то всего десять вёдер такого материала в подвале типового домохозяйства смогут обеспечить его энергией на 1–1,5 года.

Изначально алюминий нужно зарядить, для чего гидроксид алюминия путём электролиза превращают в чистый алюминий. КПД процес-

са 65%, для него требуется температура 800 °С, специальные инертные электроды и промышленное оборудование, поэтому процедуру будут проводить на специальных станциях. Зато обратный процесс высвобождения энергии можно организовать в том же подвале дома, необходимая для этого реакция алюминия с водой происходит при температуре не более 100 °С. На выходе получается гидроксид алюминия, водород для топливных элементов и некоторое количество тепла для обогрева помещения.

Есть также технологии работы с оксидом алюминия, которые требуют более высоких температур, плюс ученым поручено изучить другие методы окисления и восстановления алюминия. Главное в том, что после разрядки алюминиевая батарея вновь готова к работе, поэтому один и тот же металлический шарик можно использовать едва ли не бесконечно. Чистый алюминий можно хранить даже под открытым небом, он безопасен, а слой оксидной пленки на поверхности составляет менее 1 нанометра, поэтому потери энергии будут менее 1%.

Проект «Reveal» относится к технически сложным, и до 2026 года результатов от него ждать не стоит. Но если он увенчается успехом, то с учётом огромных запасов алюминия на Земле человечество может получить идеальные накопители энергии.

www.techcult.ru

Врачи скорой помощи в Японии начинают использовать AR-очки при транспортировке пациентов

Благодаря развитию технологий возможности очков дополненной реальности постоянно расширяются. В настоящее время в Японии изучают возможность их использования для контроля состояния пациентов во время транспортировки на каретах скорой помощи.

Данный пилотный проект проходит тестирование несколькими бригадами скорой помощи пожарной службы Шунто Идзу при доставке тяжёлых больных в медучреждения. В случае успеха эксперимента полученным опытом смогут воспользоваться и другие японские регионы.

Как это работает. Пока карета с пострадавшим едет в госпиталь, медики в принимающей больнице с помощью AR-очков, подключённых к системам дистанционного мониторинга, начинают контролировать важнейшие показатели состояния пациента и даже следить за его мимикой.

Благодаря очкам врачи больницы также смогут находиться в постоянном контакте с сопровождающими пациента коллегами, консультировать их, а также смогут подготовить всё необходимое к встрече больного, что значительно улучшит эффективность дальнейших действий по прибытию.

www.techcult.ru



ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



онлайн: www.cta.ru • +7 495 234-0635 • info@cta.ru

на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)

Современные продукты компании Microchip. Особенности 16-разрядных микроконтроллеров и цифровых сигнальных контроллеров

Юрий Петропавловский (г. Таганрог)

В статье рассмотрены особенности и приведены характеристики современных 16-разрядных цифровых сигнальных контроллеров семейства dsPIC33CH128MP508 и микроконтроллеров семейства PIC24Fxxx, производимых компанией Microchip.

16-разрядные микроконтроллеры и цифровые сигнальные контроллеры (DSC) находят применение в оборудовании и изделиях самого различного назначения. Компания Microchip выделяет ряд целевых областей применения своих продуктов данной категории: высокопроизводительные надёжные встраиваемые устройства, встраиваемые устройства с малым энергопотреблением, системы управления двигателями, цифровые системы управления питанием, системы функциональной безопасности. Важной особенностью 16-разрядных микроконтроллеров компании является их технологическая совместимость с 8-разрядными PIC-микроконтроллерами, что позволяет достаточно просто модернизировать ранее разработанные устройства и приборы, выполненные на их основе с целью улучшения качественных характеристик аппаратуры.

В каталоге Microchip 2022 года представлена большая номенклатура 16-разрядных устройств в следующих группах:

- цифровые сигнальные контроллеры dsPIC33C DSC;
- цифровые сигнальные контроллеры dsPIC33EV 5V DSC;
- микроконтроллеры PIC24F MCU.

Приборы dsPIC33C выпускаются в двухъядерном (dsPIC33CH) и одноъядерном (dsPIC33CK) вариантах, в обоих вариантах представлено по несколько семейств микросхем с различным объёмом флеш-памяти (64К, 128К, 256К, 512К, 1024К). Рассмотрим особенности двухъядерных сигнальных контроллеров семейства dsPIC33CH128MP508. Микросхемы этого семейства позиционируются как 16-разрядные двухъядерные цифровые сигнальные контроллеры с ШИМ и CAN FD интерфейсами высокого разрешения, выполненные

в 28/36/48/64/80-выводных корпусах. Микросхемы семейства характеризуются широким набором функциональных возможностей, высоким быстродействием и малым энергопотреблением.

Условия эксплуатации микросхем при напряжении питания 3...3,6 В определяются диапазоном рабочих температур и достижимым быстродействием процессорных ядер. В диапазоне рабочих температур от -40 до +125°C достижимое быстродействие ведущего ядра может достигать 100 MIPS, в диапазоне температур от -40 до +150°C быстродействие не превышает 60 MIPS. Микросхемы обеспечивают управление режимами малого энергопотребления (спящий, бездействия, «дремлющий»/ Sleep, Idle, Doze), сброса при включении и выключении питания.

Далее рассмотрим основные особенности процессорного ядра микросхем семейства:

- работа в ведущем и ведомом режимах (Master/Slave) с независимой периферией для обоих режимов;
- объём встроенной программируемой флеш-памяти 64...128 КБ, ОЗУ – 16 КБ (Master core), 24 КБ память программ и 4 КБ памяти данных (Slave Core);
- окна связи между ведущим и ведомым ядрами (MSI);
- архитектура с эффективным кодом (C и Assembler), 40-битные аккумуляторы, поддержка 32-битного умножения;
- пять наборов регистров и аккумуляторов для быстрого реагирования на прерывания.

Блоки синхронизации микросхем содержат внутренние тактовые генераторы с программируемой ФАПЧ и выходами тактовых импульсов Master Clock и Slave Clock, резервный генератор (Back-Up Internal Oscillator), схемы быстрого включения (Fast Wake-up/

Start-up), LC-генератор с малым энергопотреблением (LPRC-Oscillator).

Микросхемы семейства обеспечивают работу с ШИМ-интерфейсами высокого разрешения с точным положением фронтов импульсов. Блок устройств с ШИМ содержит 8 каналов (4/8 Master/Slave) с разрешением 250 пс. В блок ШИМ также входят: DC/DC- и AC/DC-преобразователи, источник бесперебойного питания (UPS), драйверы двигателей различного типа (BLDC, PMSM, SR, ACIM).

В таймерную секцию микросхем входят два 16-разрядных таймера общего применения, 12 модулей SCPP с режимами таймера, захвата, сравнения и ШИМ (SCCP – Signaling Capture Compare PWM) и модуль периферийного генератора триггеров PTG для обеспечения координации работы периферийных устройств.

Микросхемы семейства обеспечивают выполнение ряда аналоговых и аналого-цифровых функций, обеспечиваемых следующими устройствами:

- четыре модуля 12-разрядных АЦП (один для ведущего ядра, три – для ведомого), обеспечивающие до 18 каналов преобразования со скоростью 3,5 Мбит/с;
- четыре модуля 12-разрядных ЦАП с аппаратной компенсацией наклона (один модуль для ведущего ядра, три модуля – для ведомого);
- три модуля усилителей с программируемым усилением (PGA) для ведомого ядра с возможностью взаимодействия с АЦП ведущего ядра;
- общий выход для ЦАП и аналоговых компараторов, выход PGA.

Для обеспечения связи с внешними устройствами в микросхемах семейства предусмотрены следующие интерфейсы: три модуля UART с поддержкой протоколов DMX и LIN/J2602; три 4-проводных модуля SPI/I²S, модуль CAN с гибкой скоростью передачи данных (FD), три модуля I²C с поддержкой шины SMBus. Микросхемы семейства обеспечивают и целый ряд других функций и возможностей:

Тип микросхемы	Ядро	Число выводов	Флеш ЗУ	ОЗУ данных	Модули АЦП	Каналы АЦП	Таймеры	SCCP	CAN FD	Модули SENT	UART	SPI/I ² S	I ² C	QEI	CLC	PTG	CRC	ШИМ (высокого разрешения)	Аналоговые компараторы	PGA	Источники тока смещения	REFO
dsPIC33CH64MP502	Master	28	64К	16К	1	12	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	11	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP502	Master	28	128К	16К	1	12	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	11	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP503	Master	36	64К	16К	1	15	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	15	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP503	Master	36	128К	16К	1	15	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	16	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP505	Master	48	64К	16К	1	16	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	16	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP505	Master	48	128К	16К	1	16	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	16	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP506	Master	64	64К	16К	1	16	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP506	Master	64	128К	16К	1	16	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP508	Master	80	64К	16К	1	16	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP508	Master	80	128К	16К	1	16	1	8	1	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1

Рис. 1. Номенклатура цифровых сигнальных контроллеров семейства dsPIC33CH128MP508

Тип микросхемы	Ядро	Число выводов	Флеш ЗУ	ОЗУ данных	Модули АЦП	Каналы АЦП	Таймеры	SCCP	CAN FD	Модули SENT	UART	SPI/I ² S	I ² C	QEI	CLC	PTG	CRC	ШИМ (высокого разрешения)	Аналоговые компараторы	PGA	Источники тока смещения	REFO
dsPIC33CH64MP202	Master	28	64К	16К	1	12	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	11	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP202	Master	28	128К	16К	1	12	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	11	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP203	Master	36	64К	16К	1	15	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	15	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP203	Master	36	128К	16К	1	15	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	16	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP205	Master	48	64К	16К	1	16	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	16	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP205	Master	48	128К	16К	1	16	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	16	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP206	Master	64	64К	16К	1	16	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP206	Master	64	128К	16К	1	16	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH64MP208	Master	80	64К	16К	1	16	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1
dsPIC33CH128MP208	Master	80	128К	16К	1	16	1	8	—	2	2	2	2	1	4	1	1	4	1	—	1	1
	Slave		24К	4К	3	18	1	4	—	—	1	1	1	1	4	—	—	8	3	3	—	1

Рис. 2. Номенклатура цифровых сигнальных контроллеров семейства dsPIC33CH128MP208

- прямой доступ к памяти (DMA) – шесть каналов для ведущего ядра и два канала для ведомого ядра;
- поддержка разработки отладки (Debugger Development Support);
- функции безопасности (сторожевой таймер, код исправления ошибок, двухскоростной пуск и др.);

Также ряд микросхем семейства оснащён шинами SENT (Single-Edge Nibble Transmission), используемой для передачи сигналов датчиков в системах управления различного назначения, в том числе автомобильных.

В состав семейства входит две группы по 10 микросхем в каждой – dsPIC33CHxxxMP50x и dsPIC33CHxxx20x

(без интерфейса CAN). Конкретные микросхемы отличаются типами корпусов, объёмов памяти, количеством различных устройств и каналов, основные характеристики микросхем группы xxx50x приведены на рис. 1, группы xxx20x – на рис. 2. На рис. 3 (а, б, в, г, д) приведены цоколёвки микросхем рассматриваемого семейства в корпу-

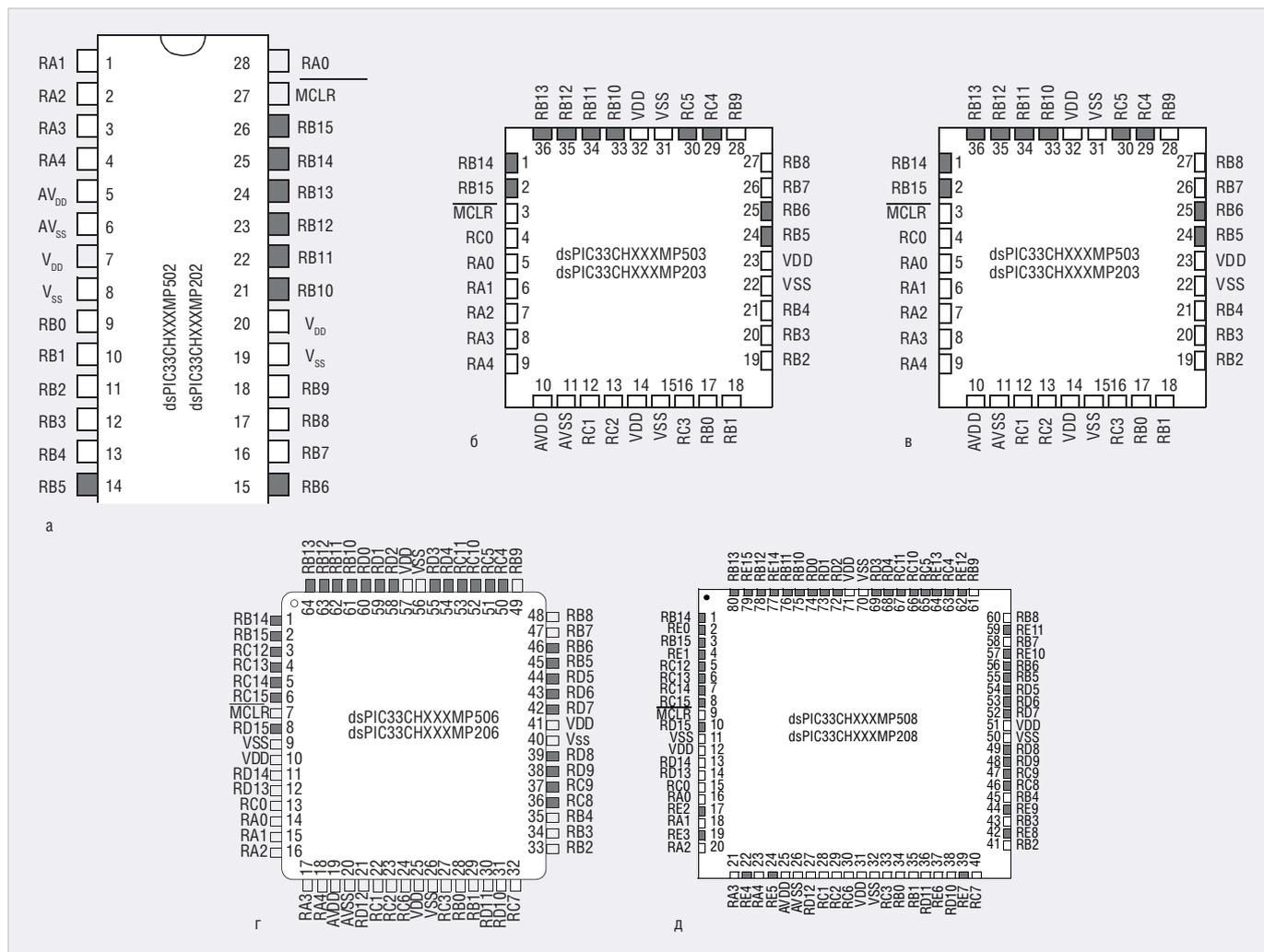


Рис. 3. Цоколёвки корпусов микросхем dsPIC33CH SSOP28 (а), UQFN36 (б), TQFP48/UQFN48 (в), TQFP64/QFN64 (г), TQFP80 (д)

сах SSOP28, UQFN36, TQFP48/UQFN48, TQFP64/QFN64, TQFP80. Следует отметить, что на рисунке приведены условные обозначения выводов микросхем RA, RB, RC, RD, RE, реальное назначение этих выводов может быть различным и устанавливается при отладке микросхем. Описание процесса отладки приведено в спецификациях и руководствах по применению микросхем.

Цифровые сигнальные контроллеры компании по сравнению с сопоставимыми цифровыми сигнальными процессорами (DSP) характеризуются большей функциональностью и оснащённостью интерфейсами и интегрированными устройствами. Ядра Master и Slave микросхем могут работать и отлаживаться отдельно друг от друга. Обе подсистемы имеют свои собственные контроллеры прерываний, генераторы тактовых импульсов, логику портов, мультиплексоры ввода/вывода. В результате микросхемы dsPIC33CH эквивалентны двум DSC на одном кристалле, при этом ведущее ядро выполняет код из программной флеш-памяти (PFM),

а ведомое ядро – из программной оперативной памяти (PRAM). Обобщённая структурная схема микросхем семейства dsPIC33CH128MP508, а также других семейств серии dsPIC33CH, например dsPIC33CH512MP508, приведена на рис. 4, цифры в скобках на рисунке означают количество устройств.

Одной из областей применения микросхем рассматриваемых семейств являются интеллектуальные системы питания (Intelligent Power), такие как AC/DC-, DC/DC-, DC/AC-преобразователи, беспроводные зарядные устройства, солнечные панели, системы управления батарейным питанием и цифровые системы управления питанием. Для примера на рис. 5 приведена схема бесперебойного источника питания на основе микросхемы семейства dsPIC33CH128MP508. Микросхема обеспечивает преобразование сетевого переменного напряжения в постоянное, обратное преобразование постоянного напряжения от выпрямителя или аккумулятора и, при необходимости, его подзарядка.

Компания выпускает широкую номенклатуру 16-разрядных микроконтроллеров под общим названием PIC24F с высоким быстродействием для гибких и инновационных проектов с высоким уровнем интеграции периферийных устройств. Микроконтроллеры PIC24F обеспечивают поддержку таких периферийных устройств и интерфейсов, как UART, USB, SPI, I²C, ШИМ и таймеры, а также специализированные периферийные устройства для графических сегментных ЖК-дисплеев и аудиоприложений (АЦП, ЦАП, компараторы и ОУ). Кроме того, микроконтроллеры содержат независимые от ядра периферийные устройства, такие как конфигурируемые логические ячейки (CLC), схемы прямого доступа к памяти (DMA) и криптографические ускорители. Ряд микросхем семейства PIC24F предназначен для эксплуатации в жёстких условиях в системах промышленной автоматизации и автомобильных приложениях.

В каталоге компании 2022 года представлено несколько групп микро-

контроллеров PIC24F, разделённых на семейства (PIC24F^{GB}, PIC24F^{GL}, PIC24F^{GD}, PIC24F^{GU} и другие). В каждое семейство входит несколько подсемейств микроконтроллеров, отличающихся между собой в основном объёмом флеш-памяти. Рассмотрим особенности микроконтроллеров PIC24F на примере семейства PIC24FJ256GA412/GB412. Микросхемы позиционируются как 16-разрядные микроконтроллеры с криптографическим устройством, сдвоенной флеш-памятью, поддержкой XLP, ЖК-дисплеев и USB OTG. Состав микросхем семейства и их функциональность приведены на рис. 6.

Центральным элементом всех микросхем рассматриваемого семейства является 16-разрядная Гарвардская архитектура, впервые применённая в dsPIC-контроллерах компании. Ядро центрального процессора микросхем семейства предлагает широкий спектр новых возможностей, в том числе:

- 16-разрядные данные и 24-разрядные адресные пути с возможностью перемещения информации между данными и пространствами памяти;
- линейная адресация до 12 МБ (программное пространство) и до 32 КБ (данные);
- 16-элементный массив рабочих регистров со встроенной поддержкой программного стека;
- аппаратный множитель 17×17 с поддержкой целочисленных вычислений;
- аппаратная поддержка преобразования 32-разрядных данных в 16-разрядные;
- набор инструкций, поддерживающий несколько режимов адресации, оптимизированный для языков высокого уровня, таких как «С»;
- операционная производительность до 16 MIPS.

Микросхемы данного и других семейств серии PiC24F могут с успехом применяться в устройствах с экстремально низким энергопотреблением XLP (Extreme Low-Power). Семейство микросхем включает в себя значительно расширенный набор режимов работы для максимального энергосбережения, в том числе новых:

- Retention Sleep (удержание спящего режима) – в этом режиме основные устройства получают питание от отдельного низковольтного стабилизатора;

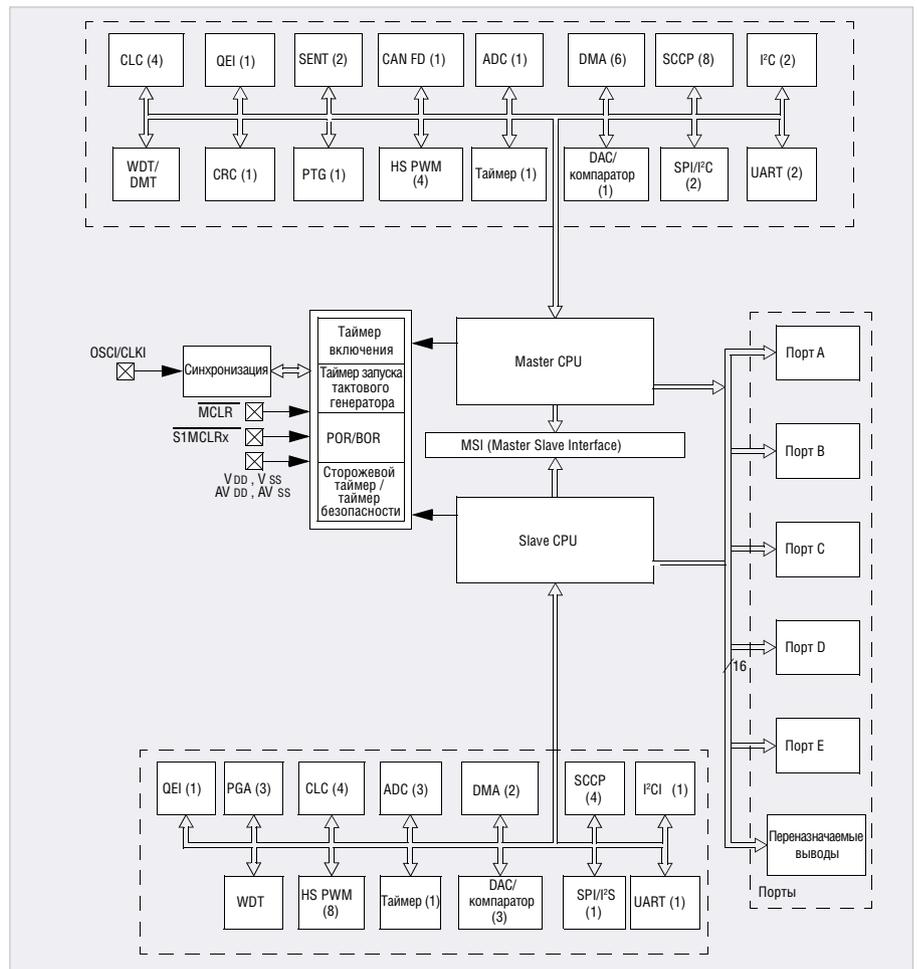


Рис. 4. Структурная схема ЦСК dsPIC33CH

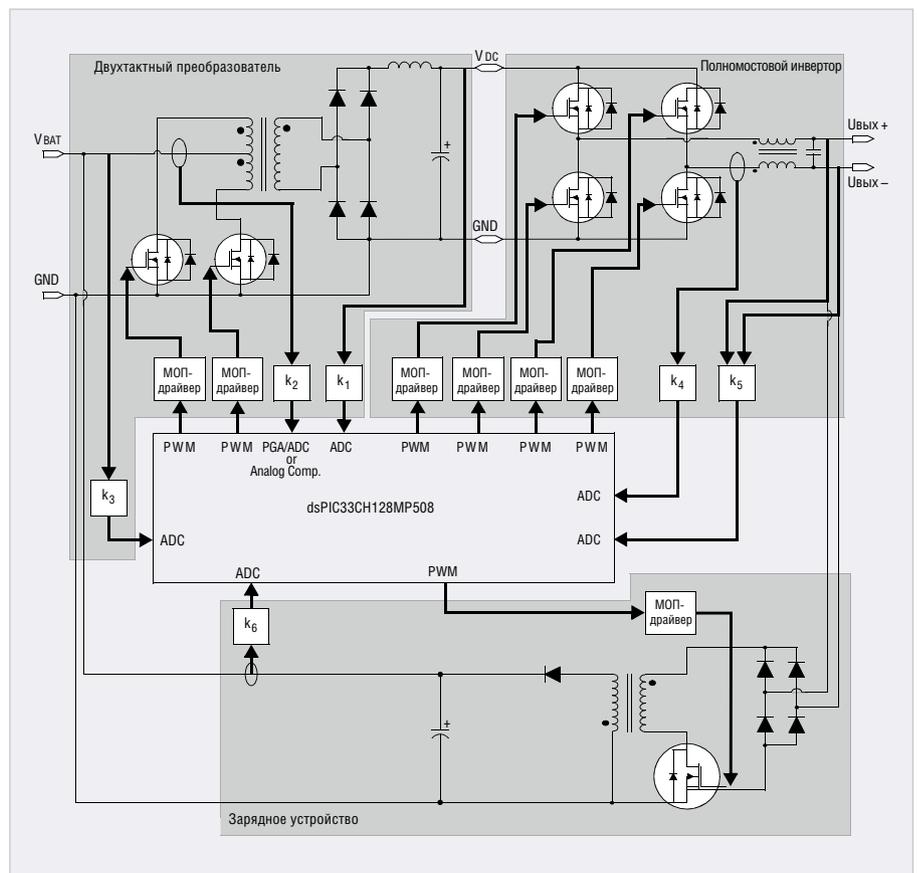


Рис. 5. Обобщённая схема источника бесперебойного питания

Тип микросхемы	Память		Выходы	Аналоговая периферия				Цифровая периферия							USB OTG	Шифрование	Контроллер ЖК-дисплеев (пиксели)	Deep Sleep + VBAT	
	Программная (байт)	Данные (байт)		10/12-бит АЦП каналы	10-бит ЦАП	Компараторы	CTMU	МССP/ССCP	16/32-бит таймеры	IC/OC-PWM	іС	SPI	UART/IrDA®	EPMP/EPSP					CLC
PIC24FJ256GA412	256K	16K	121	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	512	Y
PIC24FJ256GA410	256K	16K	100	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	480	Y
PIC24FJ256GA406	256K	16K	64	16	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	248	Y
PIC24FJ128GA412	128K	16K	121	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	512	Y
PIC24FJ128GA410	128K	16K	100	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	480	Y
PIC24FJ128GA406	128K	16K	64	16	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	248	Y
PIC24FJ64GA412	64K	8K	121	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	512	Y
PIC24FJ64GA410	64K	8K	100	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	480	Y
PIC24FJ64GA406	64K	8K	64	16	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	N	Y	248	Y
PIC24FJ256GB412	256K	16K	121	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	512	Y
PIC24FJ256GB410	256K	16K	100	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	480	Y
PIC24FJ256GB406	256K	16K	64	16	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	240	Y
PIC24FJ128GB412	128K	16K	121	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	512	Y
PIC24FJ128GB410	128K	16K	100	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	480	Y
PIC24FJ128GB406	128K	16K	64	16	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	240	Y
PIC24FJ64GB412	64K	8K	121	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	512	Y
PIC24FJ64GB410	64K	8K	100	24	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	480	Y
PIC24FJ64GB406	64K	8K	64	16	1	3	Y	1/6	31/15	6/6	3	4	6	Y	4	Y	Y	240	Y

Рис. 6. Номенклатура микроконтроллеров семейства PIC24FJ256GA/GB

- Deep Sleep («глубокий сон») – режим без часов реального времени (RTCC) для минимально возможного энергопотребления (RTCC – Real Time Clock/Calendar);
 - Vbat Mode – режим резервного питания с часами реального времени (или без них), при котором питание производится от резервной батареи в случаях отключения от нормы штатного напряжения питания.
- Микроконтроллеры семейства также поддерживают стандартные режимы энергосбережения, например, в режиме Doze поддерживается работа тактового генератора. Отличительной особенностью микросхем рассматриваемого семейства является применение флеш-памяти с двумя разделами (Dual Partition Flash), что позволяет микроконтроллерам семейства использовать ряд новых возможностей, недоступных ранее:
- работа с двумя разделами памяти, при которой два разных приложения могут храниться в их собственных разделах кода;
 - обновление в реальном времени, которое позволяет основному приложению продолжать работу, пока перепрограммируется второй раздел флеш-памяти;
 - прямое программирование во время обработки данных из ОЗУ с возможностью их сжатия;
 - возможность объединения разделов флеш-памяти для увеличения общего

объёма и использования более сложных приложений;

- у всех микроконтроллеров семейства предусмотрено пять вариантов реализации тактовых генераторов, как на основе внутренних схем, так и с подачей внешних тактовых сигналов.

Независимо от объёма памяти все микроконтроллеры семейства имеют одинаковый набор периферийных устройств, что позволяет легко модернизировать конечные устройства для работы с более сложными приложениями путём простой замены конкретных микросхем на другие с большим объёмом памяти.

Криптографические модули микроконтроллеров семейства предоставляют эффективный набор параметров безопасности данных. Используя собственный автономный математический движок, модули могут независимо выполнять стандартное шифрование и дешифрование данных независимо от центрального процессора. Криптографический алгоритм поддерживает симметричное блочное шифрование по стандартам AES, DES/3DES в пяти режимах с длиной слов от 128 бит до 256 бит. Дополнительные функции включают генерацию истинного случайного числа (TRNG) внутри ядра, несколько вариантов хранения ключей шифрования/дешифрования и безопасную обработку данных, которая предотвращает компрометацию данных в ядре при внешнем чтении.

Интерфейс USB микроконтроллеров семейства обеспечивает функцию OTG (On-The-Go / «на ходу»), обеспечивающую соединение двух приборов по стандарту USB2.0 без промежуточного хоста. Благодаря применению протокола согласования USB-хоста HNP (Host Negotiation Protocol) возможно динамическое переключение между работой в режиме хоста или периферии. Это позволяет использовать гораздо более широкий спектр приложений с поддержкой USB.

Микроконтроллеры семейства обеспечивают работу в режиме прямого доступа к памяти DMA (Direct Memory Access), действующего совместно с центральным процессором, что позволяет перемещать данные между памятью данных и периферийными устройствами без вмешательства ЦП. Применение DMA увеличивает пропускную способность каналов передачи данных и уменьшает время выполнения операций. Шесть независимо программируемых каналов позволяют обслуживать несколько периферийных устройств практически одновременно, при этом каждое из устройств может выполнять разные операции с разными протоколами передачи данных.

Встроенный контроллер ЖК-дисплеев микросхем семейства включает в себя множество функций, упрощающих интеграцию дисплеев в приложения с низким энергопотреблением, для чего имеются встроенные регулятор

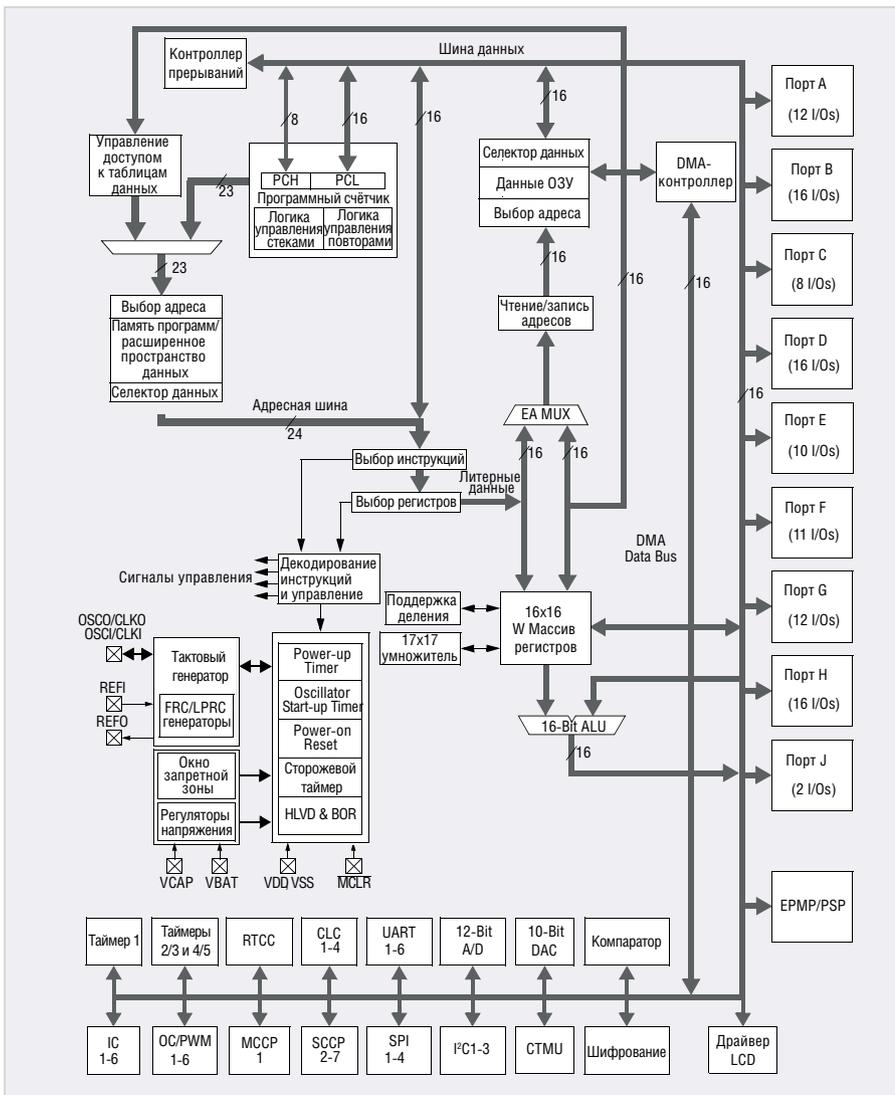


Рис. 7. Обобщённая структурная схема микроконтроллеров семейства PIC24FJ256GA/GB

напряжения с подкачкой заряда (ГПЗ/ Charge Pump) и резистивная «лестница» (Resistor Ladder) для управления ЖК-дисплеями в режимах с открытым коллектором/стоком.

Для обеспечения внешних связей в рассматриваемых микроконтроллерах имеется несколько устройств с последовательной передачей данных, каждое из которых содержит шесть независимых

каналов UART со встроенными кодерами/декодерами сигналов стандартов IrDA, используемых для организации инфракрасных каналов связи. Микросхемы также содержат три независимых модуля для шины I²C с поддержкой режимов Master/Slave, а также три модуля для сигналов стандарта SPI с поддержкой звукового формата I²S.

Все микроконтроллеры рассматриваемого семейства оснащены аналоговыми и аналого-цифровыми модулями – 12-разрядными АЦП, компараторами, схемами измерения времени заряда батарей CTMU (Charge Time Measurement Unit), а также часами и календарём реального времени RTCC.

Микросхемы семейств выпускаются в различных корпусах и с различным числом выводов: 64-TQFP/QFN, 100-TQFP, 121-TFBGA, обобщённая структурная схема микроконтроллеров семейства приведена на рис. 7. Различное число выводов корпусов микроконтроллеров объясняется различным числом встроенных устройств, интерфейсов и каналов – таймеров, UART, USB OTG, АЦП, компараторов и др., а также числом возможных функций выводов микросхем, назначаемым при программировании.

Литература

1. Официальный сайт Microchip // URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/16-bit-mcus>. Официальный сайт Microchip // URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/16-bit-mcus>. ©

НОВОСТИ МИРА

Параллельный импорт ИТ-оборудования ищет точки роста

Во II квартале 2022 года ввоз в Россию серверов сократился в 4–5 раз, несмотря на легализацию параллельного импорта. Поставки такого оборудования в июне по сравнению с февралем упали в денежном выражении на 79%, сообщают «Ведомости».

В начале II квартала импорт серверов резко рос, но по итогам периода так и не приблизился к докризисным показателям, говорят собеседники «Ведомостей». В феврале стоимость ввезённых серверов составляла \$190–200 млн, в марте упала вдвое. В апреле объём поставок превысил \$300 млн, превзойдя докризисные показатели. К июню же объём им-

порта сократился вчетверо, а в июле вернулся к мартовскому показателю в \$75–90 млн. Таким образом, рост по отношению к показателям июля к июню составил порядка 30–40%.

По данным ComNews, объём ИКТ-оборудования зарубежного производства, ввезённого по каналам параллельного импорта, в июле 2022 года на 30 % превысил суммарный объём поставок в июне этого года. Основными товарными позициями стали серверы, системы хранения данных (СХД) и сетевое оборудование (маршрутизаторы и коммутаторы). Ввезено товара на сумму \$250–300 млн. В частности, стоимость импортированных в июле в РФ серверов составила около \$75–90 млн, а СХД – превысила эту сумму.

Эти цифры сравнимы с показателями июля 2021 года. Притом что все крупные поставщики серверов и СХД (Dell, HPE, Hitachi Vantara, Atos, NetApp, IBM, Oracle и ряд других) и производители сетевого оборудования (Cisco, Juniper, Ericsson и Nokia, Fortinet) приостановили отгрузки в РФ или ушли с российского рынка. Китайские вендоры Huawei и ZTE де-факто не ведут отгрузок с конца марта 2022 года. Основными странами закупки импортированных товаров являются ОАЭ, Турция и Китай. Собеседники ComNews также сообщили, что наценка в случае такого импорта может составлять от 60% до 100%.

servernews.ru

Зачем нужны квантовые вычисления?

Часть 1. Что такое квантовый компьютер

Виктор Алексеев (victor.alexeev@gmail.com)

В первой части статьи описываются основные принципы работы квантовых компьютеров, рассматриваются в первом приближении различные их виды и проводится экскурс в технологии квантовых вычислений в целом. Также в этой части статьи приводится описание архитектуры квантового компьютера.

Сегодня не прекращаются дебаты относительно того, зачем нужны квантовые компьютеры; нужно ли инвестировать в эти проекты; насколько реальны перспективы появления полноценных квантовых компьютеров, способных заменить и даже вытеснить классические компьютеры в некоторых приложениях. Особый интерес представляет вопрос о том, когда будет создан квантовый компьютер, который сможет мгновенно взламывать любые шифры. Данная статья является попыткой ответа на такие вопросы на языке, доступном для неспециалистов в квантовой физике. В некотором смысле статья может заинтересовать и людей, знакомых с предметом, поскольку в ней цитируются интересные работы, опубликованные в последние годы в ведущих научных журналах.

С развитием науки и техники всё более актуальными становятся задачи моделирования в таких областях, как, например, квантовая химия и квантовая физика, современные криптографические системы высокого класса устойчивости, разработки новых материалов и лекарственных препаратов и в других аналогичных приложениях.

В ряде случаев стандартные компьютеры с двоичной логикой просто не в состоянии справиться с некоторыми из подобных задач. Надежды на решение этих проблем связаны с новым типом вычислительных устройств, которые используют квантово-механические явления микромира для работы со сложными вероятностными моделями. В отличие от стандартных компьютеров с двоичной логикой, эти квантовые вычислители используют в качестве единицы измерения квантовые биты (кубиты).

В настоящее время классифицируются два основных типа квантовых вычислителей – универсальные циф-

ровые вентиляльные квантовые компьютеры UDQC и адиабатические аналоговые квантовые вычислители, включающие в том числе модели с квантовым отжигом AQ, QA. В первой части статьи представлен краткий обзор ситуации с текущими разработками в области квантовых вычислений в ведущих лабораториях мира. Для неспециалистов сделан специальный раздел с простыми вводными пояснениями базовых терминов квантовых вычислений. Также в хронологическом порядке рассмотрены основные типы квантовых кубитов.

Вторая часть статьи посвящена компьютерам классов UDQC и NISQ, куда входят VQE, адиабатические квантовые вычислители и вычислители с квантовым отжигом.

Введение

Много ли людей в мире слышали в конце 1990-х выражения «квантовый компьютер» и «квантовая физика»? Вероятно, не очень много. Ситуация резко изменилась в начале 2000-х после того, как специалисты концерна IBM с помощью своего лабораторного варианта квантового компьютера с семью вычислительными элементами (кубитами) экспериментально показали работоспособность алгоритма Шора, опубликованного еще в 1994 году. Этот алгоритм теоретически доказывает возможность реализации целочисленной факторизации больших чисел. Иными словами, с помощью этого алгоритма идеальный квантовый компьютер способен достаточно быстро взламывать большинство используемых сейчас асимметричных криптографических схем. Физики из IBM в 2001 году смогли продемонстрировать успешную работу алгоритма Шора на своём квантовом компьютере, разложив число 15 на произведение простых чисел [1].

Эта тривиальная задача вызывает ироническую улыбку. Однако идея была быстро подхвачена прессой и телевидением как реклама квантового компьютера в качестве инструмента, способного взламывать любые криптографические протоколы, в том числе банковские шифры и коды пуска ракет с ядерными боеголовками. Естественно, началась паника, стимулировавшая неограниченное финансирование во всех странах проектов, связанных с квантовыми компьютерами [2–4].

Практически CRQC представляют собой разновидность универсального цифрового квантового компьютера с вентиляльной обработкой сигнала, который способен атаковать реальные криптографические системы.

Возникли сотни новых лабораторий по всему миру, которые с огромным энтузиазмом взялись за развитие квантовых вычислений и поиск путей создания так называемого «криптографически релевантного квантового компьютера» (Cryptographically Relevant Quantum Computer – CRQC), способного взламывать шифры [5].

Но, несмотря на огромные финансовые вливания и интенсивные исследования, потребовалось около десяти лет для того, чтобы научный мир пришёл к неутешительному выводу о невозможности создания на современном технологическом уровне квантового компьютера типа CRQC. Например, для того чтобы взломать протокол RSA-1024, нужно разложить на простые множители число 2^{1024} . Поэтому для взлома протокола шифрования RSA-1024 в режиме реального времени понадобится универсальный квантовый программируемый вентиляльный квантовый компьютер с квантовой коррекцией ошибок вычислений, содержащий сотни тысяч кубитов. Хотя теоретическая возможность создания такого компьютера существует, но когда она будет воплощена в жизнь, сейчас сказать крайне сложно [6].

Поскольку ажиотаж, связанный с разработкой CRQC, постепенно утих, многочисленные лаборатории, образовавшиеся в результате «шифровального бума», переключились на новые

направления. Одни лаборатории продолжили развивать технологии квантовых вычислений и переключились на направления, связанные с моделированием задач квантовой химии и физики. Другие фирмы отказались от первоначально заявленной цели (универсальный цифровой квантовый компьютер с вентиляльным управлением) и начали искать другие применения кубитов.

Третьи фирмы предпочли заниматься специфическими направлениями, такими как, например, «постквантовая криптография». Несмотря на то что на практике создать универсальный цифровой квантовый компьютер, взламывающий коды, не удалось, в рамках этих работ возникло новое направление, целью которого стала разработка квантово-безопасной криптографической технологии, устойчивой к квантовым атакам. Эта технология, получившая название «post-quantum cryptography – PQC» (постквантовая криптография), разрабатывается под эгидой Европейского Института Стандартов и Телекоммуникаций (ETSI) [7].

Сегодня всё более актуальными становятся научные направления, связанные с использованием вероятностного моделирования многоуровневых систем, в которых при увеличении количества задействованных переменных экспоненциально увеличивается число возможных состояний. В ряде случаев, когда в моделях задействованы сотни тысяч параметров, даже сверхмощные современные компьютеры КДЛ просто не в состоянии справиться с некоторыми из подобных задач. Поэтому для решения проблем, связанных с динамикой сложных систем, необходимо либо существенно упрощать математическую модель, либо использовать какие-то совершенно новые типы вычислительных методик. Одним из вариантов ускорения подобных сложных вычислений являются «квантовые вычисления – quantum calculations».

Под термином «квантовые вычисления» подразумеваются некие манипуляции со специальными вычислительными устройствами, в которых используются квантово-механические процессы. Целью квантовых вычислений является нахождение вероятностных решений математических задач специального класса, для которых не существует точных решений с использованием операций, число которых не превышает некоторого полинома в

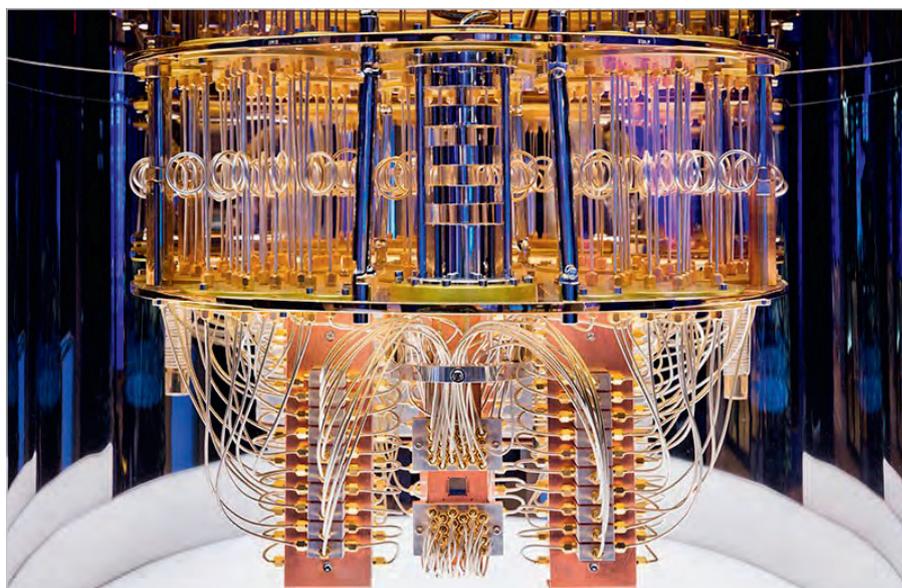


Рис. 1. Внешний вид нового универсального цифрового квантового вентиляльного компьютера IBM без камеры охлаждения

зависимости от размера исходных данных (NP hard).

Это совершенно иные математические действия, чем хорошо известные двоичные вычисления на стандартных компьютерах КДЛ с логикой «ноль и единица».

Предполагается, что со временем квантовые вычисления помогут коренным образом решить перечисленные выше проблемы с моделированием сложных нестационарных процессов.

В современной англоязычной научно-технической литературе стараются избегать общего термина «quantum computer» и пытаются конкретизировать тип устройства согласно его прямому назначению. В данной статье мы будем стараться придерживаться этого правила. В настоящее время существует пять основных типов устройств, предназначенных для квантовых вычислений:

- универсальный квантовый цифровой компьютер с вентиляльной обработкой (Universal Digital Quantum Gate Computer UDQGC);
- квантовые адиабатические вычислители (Adiabatic Quantum Processing Unit);
- вычислители с квантовым отжигом (Quantum Annealing Processing Unit – QAPU);
- вариационные квантовые решатели (Variational Quantum Eigensolvers);
- криптографически релевантный квантовый компьютер (Cryptographically Relevant Quantum Computer – CRQC).

В качестве единиц информации все эти устройства используют так назы-

ваемые квантовые биты (quantum bit – кубит). Это то, что объединяет эти устройства в единый класс – квантовые вычислители.

Квантовые вычислители – это устройства, которые принципиально отличаются от наших стандартных компьютеров КДЛ. Квантовые вычислители в результате некоторых манипуляций с кубитами позволяют получить ответ на поставленную в форме специального алгоритма задачу в виде некоторого события, спрогнозированного с некоторой вероятностью.

Особенности кубитов заключаются в том, что они, являясь объектами квантового микромира, могут существовать в трёх состояниях – два крайних определённых состояния и одно неопределённое квантовое состояние, постулируемое теоретической квантовой механикой как «суперпозиция». К этому понятию вернёмся несколько позже.

Современные технологии позволяют создавать кубиты на базе самых разных квантовых объектов, таких, например, как ионы, нейтральные атомы, фотоны, дефекты в кристаллах, квантовые эффекты в сверхпроводниках и т.д. Использовать эти квантовые состояния можно только при сверхнизких температурах. Поэтому сами кубиты размещаются в специальной холодильной машине (dilution refrigerator), внутри которой поддерживается температура, близкая к абсолютному нулю. Современный квантовый компьютер – это сооружение достаточно внушительных размеров (рис. 1) [8].

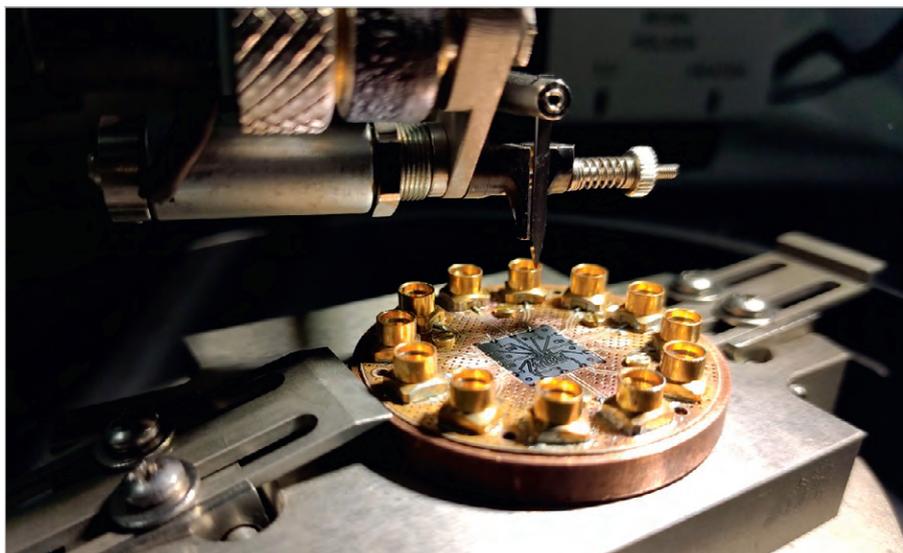


Рис. 2. Интегральная схема на основе пяти сверхпроводниковых кубитов в держателе, разработанная МФТИ

Следует отметить, что существует тип квантовых вычислителей, использующий дефекты в кристаллах, который может работать при комнатных температурах [9].

Кроме того, кубиты на нейтральных атомах работают с лазерным охлаждением и не требуют громоздких криогенных установок.

Современные квантовые вычислители способны моделировать сейчас только простые молекулы. Так, с помощью универсального цифрового квантового компьютера UDQGC сотрудники IBM смогли смоделировать основное состояние молекулы воды [10].

Исследовательская группа из Google Quantum AI при помощи разработанного ими алгоритма определила основные состояния молекулярного азота и других элементов. По мнению руководителя эксперимента Дэвида Райхмана, полученные результаты представляют собой одно из самых значимых событий в квантовой химии за 2022 год [11].

Несмотря на радужные перспективы, реальная оценка существующего уровня развития квантовых вычислений показывает, что, согласно современному уровню теоретической квантовой физики и существующих технологий, для моделирования сложных квантовых систем нужны квантовые компьютеры, содержащие сотни тысяч и миллионы вычислительных ячеек. Это сегодня в принципе невозможно. Самый лучший из квантовых компьютеров класса UDQGC, созданный концерном IBM, содержит 127 кубитов (по данным на 16 ноября 2021 года) [12].

В настоящее время технология квантовых вычислителей в начале 2000-х перешла из начального уровня развития в переходный период поиска новых прорывных технологий. Сейчас мы находимся скорее на уровне демонстрации потенциальных возможностей квантовых вычислений, а также поиска новых алгоритмов и технологий.

В настоящее время во всём мире эксплуатируются и модернизируются образцы универсальных цифровых квантовых вентиляльных компьютеров UDQGC, представляющие собой сложнейшие лабораторные установки.

Экспериментальные образцы этих компьютеров, расположенные в ведущих мировых исследовательских центрах, в чистом виде в основном используются для изучения и моделирования самого процесса квантовых вычислений и квантовых алгоритмов. В последнее время компьютеры этого типа в сочетании со стандартными компьютерами КДЛ используются в гибридных проектах VQE [13, 14].

Параллельно с развитием направления универсальных цифровых, вентиляльных квантовых компьютеров развивается направление адиабатических аналоговых квантовых вычислителей. В отличие от цифровых UDQGC, адиабатические квантовые вычислители не имеют цифровых вентилялей. Кубиты в них управляются с помощью токов смещения в джозефсоновских переходах. Подробнее об этом в других разделах статьи.

Из чисто научных проектов квантовые вычисления постепенно начинают внедряться в реальную жизнь.

Канадская фирма D-Wave выпускает в продажу квантовые вычислители с отжигом (annealing quantum computer), которые используются многими крупными фирмами и университетами для изучения адиабатических квантовых процессов [15].

Швейцарская фирма ID Quantique предлагает квантовые ключи, квантово-безопасное сетевое шифрование, счётчики одиночных фотонов и аппаратные генераторы случайных чисел на базе кубитов [16]. Американская MagiQ Technologies разрабатывает и поставляет квантовые ключи и квантовые системы безопасности [17, 18].

В настоящее время исследованиями в области квантовых вычислений занимаются около пятисот различных лабораторий практически во всех развитых странах.

По данным [19] на сегодняшний день Великобритания является одним из главных центров по разработкам в области квантовых вычислений. В стране расположены такие ведущие лаборатории по разработке QC, как, например: Quantinuum; Oxford Quantum Circuits; Oxford Instruments; NQCC (UK Research and Innovation); Universal Quantum; Cambridge Quantum; Honeywell Quantum Solutions; Riverlane; QURECA и другие.

Интенсивные разработки квантовых компьютеров ведутся в лабораториях таких университетов, как Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Kyoto University, Oxford University, University of Calgary, Wuhan University, University of Groningen, Jülich Supercomputing Centre, National Laboratory for Quantum Information Sciences in Hefei и других научных центрах мира.

Согласно данным консалтинговой компании Patinformatics, занимающейся патентной аналитикой, наибольшее число патентных заявок за последние несколько лет на тему квантовых вычислений в мире было подано Китаем, который всячески поддерживает и стимулирует разработки в этой области [20, 21].

Следует обратить внимание на то, что два из крупнейших в мире квантовых компьютеров находятся в КНР: «Jiuzhang 2.0» – мощный фотонный квантовый компьютер и «Zuchongzi» с 56 сверхпроводящими кубитами [22].

Проблемам квантовых вычислений уделяется особое внимание также и в России. Так, например, в научно-исследовательском центре RQC [23], а также

и в лаборатории искусственных квантовых систем МФТИ, разрабатываются квантовые интегральные схемы на основе кубитов из сверхпроводников (рис. 2) [24].

Учёные из Российского квантового центра и Физического института имени П.Н. Лебедева РАН создали прототип квантового компьютера на ионах, используя систему из четырёх кубитов и оригинальную технологию масштабирования квантовых процессоров с использованием многоуровневых носителей информации [25].

В этой связи следует отметить работы, выполненные под руководством одного из основателей «Российского квантового центра» (RQC), выпускника МФТИ, профессора Гарвардского Университета Михаила Лукина [26].

Фактически группа Михаила Лукина разработала первый ионный квантовый компьютер, который стал прототипом для многих вариантов QC, работающих в разных лабораториях мира. Использование модели компьютера с квантовым симулятором атома Ридберга позволило группе Михаила Лукина решить ряд вопросов, связанных с проблемой квантовых фазовых переходов (Quantum phase transitions – QPTs) в динамических изолированных, неравновесных квантовых системах в реальном масштабе времени. В частности, был экспериментально подтверждён квантовый механизм Киббла–Зурека (Kibble–Zurek mechanism – QKZM) для квантовых фазовых переходов изинговского типа (Ising-type QPT). Эти работы являются характерным примером того, как квантовые компьютеры могут быть с успехом использованы в фундаментальных прикладных исследованиях [27].

Простыми словами о квантовом компьютере

Историю развития квантовых компьютеров можно начать отсчитывать от различных событий. На этот счёт существует несколько разных мнений [28]. По одной из версий, начало новому направлению было положено в 1982 году, когда идея квантового компьютера была высказана выдающимся физиком Ричардом Фейнманом (Richard Feynman) в своей знаменитой лекции «Моделирование физики на компьютерах». В ней он обосновал идею некоего устройства на базе естественных квантово-механических процессов, работающего под управлением

классического компьютера КДЛ. Следует особо подчеркнуть, что цель работы Фейнмана заключалась не в том, чтобы разработать новый тип вычислительного компьютера, а в том, чтобы лучше понять разнообразные варианты существования электронов в пространстве при различных условиях квантовых явлений. Поэтому и возникла идея изучения объектов квантовой физики с привлечением самих же этих объектов в исследовательском оборудовании. Такое устройство предлагалось использовать для создания вероятностных моделей квантовых систем и их элементов [29].

Позднее этот прибор получил название «квантовый компьютер» (quantum computer, QC).

Израильянин Дэвид Дойч (David Deutsch), переехавший в Великобританию и работавший в Оксфордском университете, был одним из самых влиятельных квантовых физиков XX века. В 1985 году он опубликовал статью, в которой были изложены основные принципы квантовых вычислений, а также было показано, что квантовые компьютеры могут иметь вычислительную мощность, превышающую вычислительную мощность классических компьютеров, и эффективно решать вычислительные задачи, которые не имеют эффективного решения даже на вероятностной машине Тьюринга [30].

Квантовая механика базируется на трудно воспринимаемых парадоксальных абстракциях, которые описываются крайне сложным математическим аппаратом. Очевидно, что существует какая-то идеальная теория микромира. Но пока она нам неизвестна, мы вынуждены пользоваться квантовой механикой в её текущем состоянии [31]. В прикладных исследованиях, в принципе, можно обойтись и без теоретических основ, принять на веру, что все постулаты так или иначе справедливо утверждаемы одной из интерпретаций, и просто молча использовать существующий математический аппарат. Примерно так охарактеризовал своё отношение к классической интерпретации квантовой механики американский физик David Mermin – «Shut up and calculate» («Перестаньте разглагольствовать и просто займитесь вычислениями») [32].

Иными словами – только формулы и никакой философии. Большинство статей, посвящённых вопросам квантовых компьютеров, следуют именно этому совету. Поэтому люди, не восприни-

мающие понятия квантовой механики и незнакомые с её экзотическим математическим аппаратом, сходу отвергают эту науку и её выводы вообще. В этой статье нам придётся в минимальном объёме привести некоторые ключевые термины из области квантовых вычислений. Поэтому автор заранее приносит извинение тем людям, которые ненавидят всякие формулы и абстрактные понятия, для которых нет аналогов в реальном мире. В этой статье намеренно не приводятся формулы квантовых вычислений. Для желающих ознакомиться с азами этой непростой науки можно рекомендовать вводный курс [33].

Наименьшая теоретическая единица информации в квантовых вычислениях получила название «quantum bit – qubit» (русский перевод – квантовый бит или кубит).

Коренным отличием единиц информации в КДЛ и квантовом компьютере является то, что, в отличие от двоичного бита с состояниями ноль и единица, кубит имеет третье промежуточное состояние. Это промежуточное неопределённое состояние в квантовой механике получило название «quantum superposition – квантовая суперпозиция».

Одним из удачных примеров, используемых в литературе для визуализации квантовой суперпозиции кубита, является брошенная с самолета на большой высоте монетка. Пока монетка, вращаясь, падает вниз, нельзя сказать, в каком состоянии она находится в данный момент – орёл или решка. В этом смысле монета для наблюдателя, ожидающего её на земле, находится по отношению к нему в промежуточном состоянии, то есть в суперпозиции между орлом и решкой. Результат будет точно известен только тогда, когда монетка упадёт на землю. Можно попытаться составить уравнение, описывающее полёт монетки, с учётом законов классической физики, изменения скорости вращения монетки с высотой, сопротивления воздуха на разных высотах плюс наложения случайных факторов типа дождя, бокового ветра и т.д. Если ещё больше усложнить задачу и предположить, что с самолета был выброшен мешок с монетками и нужно определить, как распределятся монетки на земле в момент наименьшего значения их потенциальной энергии, то решение будет трудно найти даже с помощью самого современ-

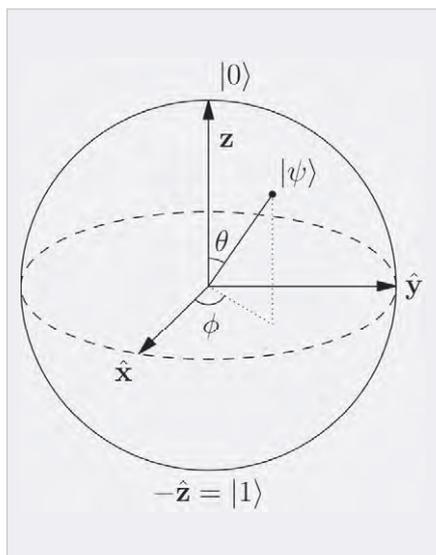


Рис. 3. Образ кубита на сфере Блоха

ного классического КБЛ. Существует третий вариант – попытаться смоделировать процесс падения монетки в лабораторных условиях, используя некий физический процесс. Примерно такой принцип используется в квантовом компьютере, в котором используются свойства квантовых объектов для моделирования сходных по алгоритму задач.

В качестве физического воплощения кубитов в основном используются следующие типы:

- сверхпроводящие кубиты с переходом Джозефсона;
- кубиты с ионными ловушками;
- кубиты на основе нейтральных атомов;
- фотонные кубиты;
- кубиты с дефектами кристаллической решетки;
- кубиты для вычислителей с ЯМР.

Необходимо подчеркнуть, что, в отличие от классической физики, в квантовой механике используется понятие вектора состояния, подразумевающее множество математических величин, которое полностью описывает квантовую систему в гильбертовом пространстве. В ряде случаев вместо термина «вектор состояния» употребляется его синоним – «амплитуда состояния».

В общем случае кубит можно трактовать как вектор состояния двухуровневой системы в гильбертовом пространстве. Поскольку любой вектор состояния может быть представлен как совокупность элементарных векторов, то кубит вводится как понятие минимально возможного векторного состояния. В качестве наглядного

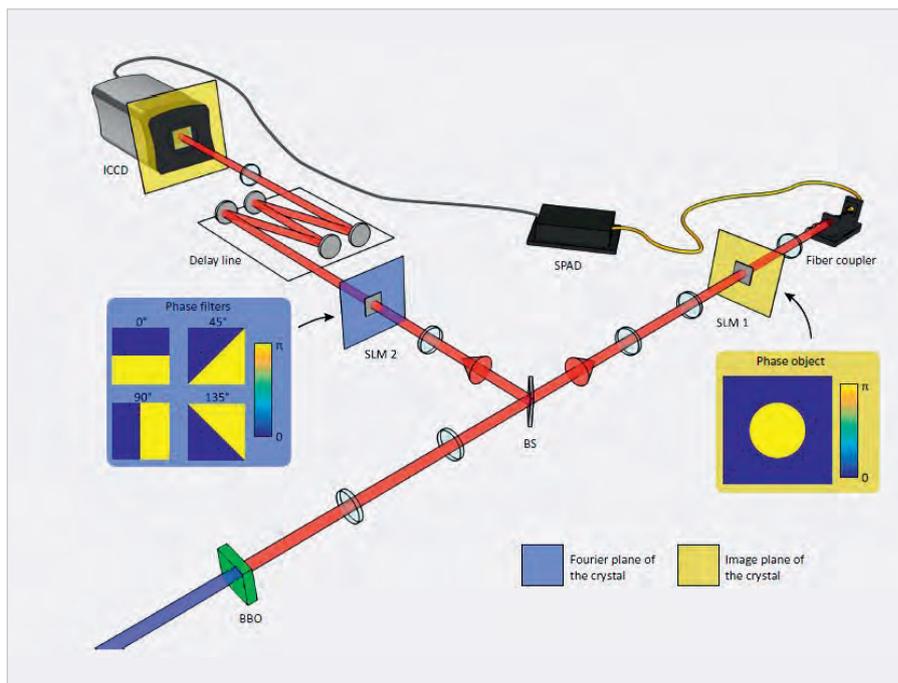


Рис. 4. Схема экспериментальной проверки запутанности фотонов

представления кубита обычно используют сферу Блоха (рис. 3) [34, 35].

На рис. 3 угол в плоскости XZ соответствует амплитуде вектора, то есть вероятности события, а угол в плоскости XY определяет фазу вращения. Два крайних положения на вертикальной оси определяют два основных состояния кубита. В случае комплексной переменной с мнимыми значениями $\pm i$, образующими комплексную плоскость, возможные положения вектора кубита многократно увеличивают его возможные положения. Три проекции вектора полностью определяют матрицу плотности кубита. В случае чистого состояния, при замкнутой системе, вектор, вращаясь в горизонтальной и вертикальной плоскостях, описывает сферу единичного радиуса. Для чистого состояния (замкнутой системы) матрица плотности кубита может быть представлена точкой в нашем привычном трёхмерном пространстве, то есть точкой на поверхности сферы Блоха (рис. 3). Как можно понять, таких точек на поверхности сферы бесконечное множество. В случае смешанного состояния длина вектора становится меньше единицы, и он будет вращаться внутри единичной сферы.

Энергетическое состояние физической системы описывается оператором полной энергии – гамильтонианом H , в математическую формулу которого входят параметры, характеризующие потенциальную и кинетическую энергию системы, импульс, координаты,

векторы скорости и ускорения и т.д. В квантовой механике гамильтониан генерирует эволюцию квантовых состояний системы во времени.

В то время как существующие классические КДЛ кодируют и обрабатывают информацию в виде двоичного кода, квантовый компьютер, оперирующий с тремя состояниями, определяет вектор состояния кубита, или, иными словами, вероятность нахождения кубита в том или ином состоянии.

Другой важнейший ключевой принцип квантовых вычислений, который называется «квантовая запутанность – quantum entanglement», определяет взаимозависимость состояния двух или большего числа квантовых объектов.

Благодаря «квантовой запутанности» частицы, взаимодействующие друг с другом, могут оставаться связанными, мгновенно меняя свои физические состояния независимо от того, насколько велико расстояние, которое их разделяет.

Эффект «квантовой запутанности» хорошо иллюстрируется на примере фотонов, которые могут иметь линейную, круговую или эллиптическую поляризацию. В свою очередь, круговая поляризация может быть правой или левой, в зависимости от направления вращения вектора индукции. Кроме того, в качестве дополнительного параметра могут быть задействованы орбитальные угловые моменты фотонов. Например, если в паре запутанных фотонов один из них имеет пра-

вую поляризацию, а другой левую, то при изменении поляризации одного из них одновременно изменяется поляризация другого. Причём подобная взаимозависимость сохраняется независимо от расстояния между ними. Это один из парадоксов квантовой механики, тем не менее неоднократно подтверждённый экспериментально.

Группа физиков из Университета Глазго разработала установку, в которой поток запутанных фотонов из квантового источника света пропускался через систему специальных фильтров, изменявших фазы вращения (рис. 4). Регистратор отдельных фотонов срабатывал только тогда, когда на него попадали запутанные кванты света. В результате им удалось получить визуальную картину, демонстрирующую эффект запутанности пары фотонов [36].

В квантовом компьютере для того, чтобы определить текущее состояние системы из N кубитов, нужно знать значения вероятностей нахождения каждого из кубитов в крайнем состоянии. Например, два кубита могут быть в двух состояниях и содержать четыре бита информации. Три кубита дают 8 возможных состояний. Продолжая этот процесс, получим, что 4 кубита – 16 возможных состояний, а N кубитов содержат 2^N бит информации.

Поскольку квантовый компьютер работает не с самими конечными состояниями ноль или единица, а вероятностями их появления, то в принципе возникает возможность обрабатывать все возможные состояния как бы параллельно, что является существенным преимуществом квантового компьютера над обычными компьютерами КДЛ. Однако нужно чётко понимать, что преимущество квантового компьютера перед обычным компьютером КДЛ заключается не в скорости выполнения операций, а в объёме обрабатываемых одновременно данных при решении только определённого круга задач. Поэтому квантовый компьютер никогда не заменит классический компьютер КДЛ, и наоборот. Просто у них изначально разные задачи.

Ещё раз следует подчеркнуть, что квантовый компьютер – это не калькулятор, и он не может точно решить, например, такую задачу: найти Y , если $Y^2 = 4$. В отличие от классического компьютера КБЛ, который мгновенно ответит, что $Y = 2$, квантовый компьютер после долгих и мучительных поисков,

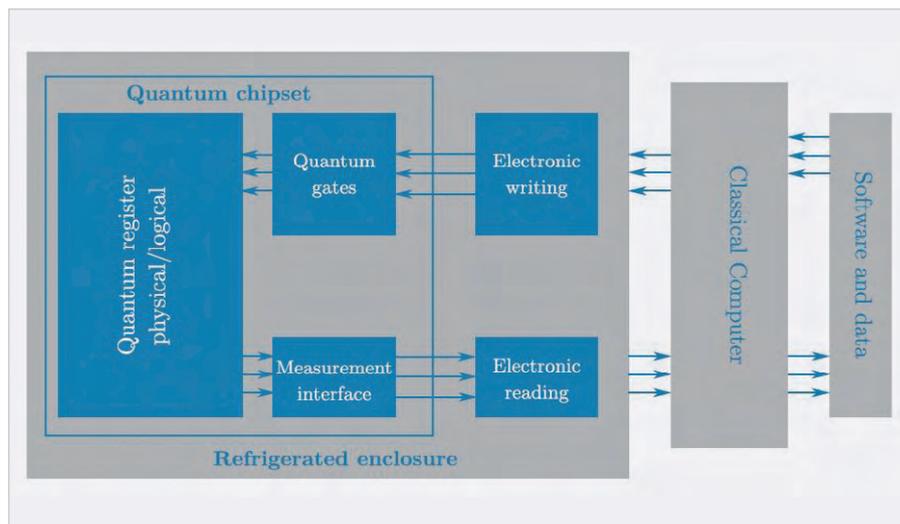


Рис. 5. Структурная схема универсального цифрового квантового компьютера с вентильной обработкой

перебирая различные варианты, скажет, что с вероятностью 99% $Y = 2$, но есть вариант, что с вероятностью 1% $Y = 5$. Квантовый компьютер используется только для моделирования некоторых процессов, для которых существуют конкретные квантовые алгоритмы, разработанные под конкретный квантовый компьютер, имеющий определённую структуру и определённый набор квантовых вентилях. При этом ответ будет получен не абсолютно точно, а с некоторой вероятностью.

Например, существует один из простейших квантовых алгоритмов Изинга, предназначенный для описания модели намагничивания материалов. Идея модели Изинга заключается в том, что все магнитные моменты разворачиваются под действием сильного магнитного поля в определённом направлении. После снятия магнитного поля система переходит в наименьшее энергетическое состояние, которое и является вероятностным результатом модели. Точного аналитического решения в общем случае эта задача не имеет. Однако она может быть решена с помощью стандартного компьютера КДЛ статистическими методами в двумерном варианте. В работе [37] было показано, что одномерную модель Изинга также можно успешно задействовать в квантовых вычислениях с помощью квантового алгоритма Изинга. Постепенно выяснилось, что к квантовому алгоритму Изинга можно формально свести и другие задачи в таких прикладных областях, как, например, моделирование молекул, различных физических явлений, процессов в твёрдом теле и т.д. Таким образом, можно применять

квантовые вычисления для решения определённого класса задач, используя разработанные и проверенные алгоритмы [38].

На рис. 5 [39] показана структурная схема универсального цифрового квантового компьютера с вентильной обработкой (UDGQC).

Квантовый чипсет небольших размеров содержит: квантовый регистр, состоящий из вычислительных кубитов; квантовые вентили; интерфейс для снятия показаний состояния кубитов. Управляется квантовый чипсет внешней стандартной электроникой.

По аналогии с обычным компьютером КДЛ, управление универсальным квантовым компьютером реализуется с помощью логических вентилях, позволяющих выполнять простейшие операции над одним или двумя кубитами. В литературе встречается также название «квантовый гейт», являющееся калькой с английского термина «quantum gate», который дословно переводится как «квантовый вентиль».

Логические квантовые вентили, которые используются в квантовых вычислениях, имеют иные цели, чем те, которые используются в классических КДЛ. Квантовые логические вентили работают как квантовые операторы. Являясь, по существу, унитарными матрицами, они преобразуют одни текущие вероятностные состояния кубитов в другие состояния с другими вероятностями. Иными словами, квантовые вентили – это базовые управляющие элементы, манипулирующие кубитами в квантовом компьютере.

В квантовых компьютерах нет того привычного регистра, как в классиче-

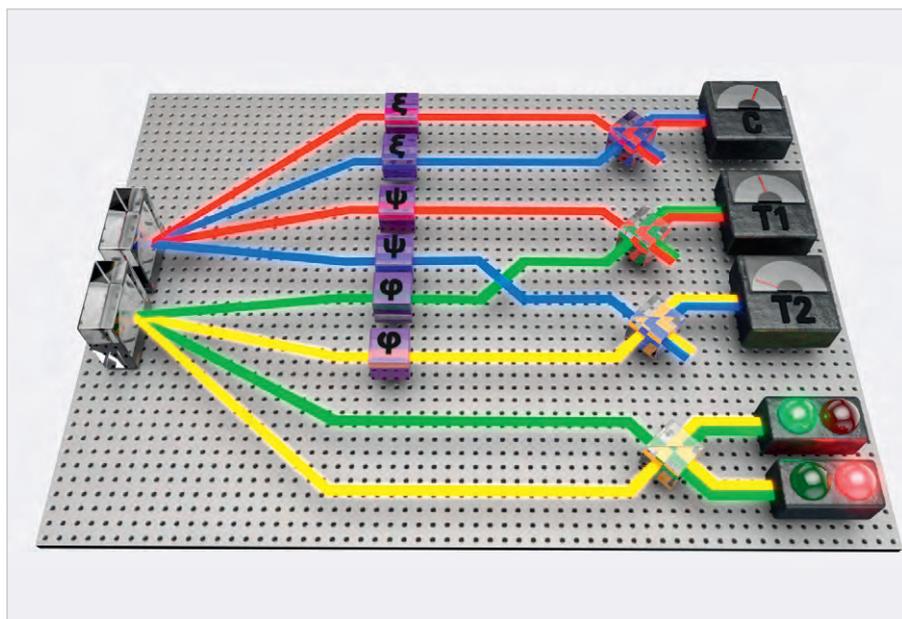


Рис. 6. Схема универсального квантового вентиля

Примечание: Три верхние пары определяют два вычислительных и один управляющий кубиты. Нижняя пара относится к триггеру срабатывания вентиля.

ских КДЛ с ячейками памяти и транзисторной логикой, размещающей нули и единицы в эти ячейки. Роль квантового регистра выполняют сами кубиты, в которых хранится информация в течение времени их жизни. Проще говоря, то, что подразумевается под термином «квантовый регистр», – это просто массив из n кубитов. Причём всё содержимое кубита носит вероятностный характер, заранее неизвестно и проявляется только в процессе вычислений. Квантовые регистры доступны при определённых условиях, в то время как классические регистры КБЛ доступны всегда. Ещё одно важное отличие от КБЛ заключается в том, что квантовые регистры нельзя ни скопировать независимо друг от друга, ни удалить индивидуально.

Нужно также отметить, что вероятность правильного ответа на выходе квантового алгоритма не бывает 100%. При 100% мы выставляем кубит в крайнее положение, выводим его из вычислительного состояния когерентности, тем самым «убивая» активную жизнь кубита и стирая всю предыдущую информацию, записанную ранее в «регистрах» суперпозиции. Именно поэтому в квантовых вычислениях в принципе невозможны необратимые операции. В квантовых компьютерах нет вентиля типа чистого сложения, но есть вентили для выполнения обратимых действий, таких, например, как вычитание, отрицание, тождество.

По сравнению с классическими компьютерами КДЛ у квантовых вентилях больше потенциальных возможностей. Кроме линейных преобразований однокубитные вентили могут также переводить кубиты в состояние суперпозиции, а многокубитные вентили способны запутывать кубиты между собой.

Важным свойством квантовых вентилях является принцип двойного отрицания. Как в английской грамматике два последовательных «не» нейтрализуют отрицание, так и в операторах квантовых вычислений двойное последовательное применение полностью ликвидирует последствия его действия.

Произвольные однокубитные унитарные вентили U также ассоциируются с вращением кубита. Например, вентиль $U1$ осуществляет вращение одного кубита вокруг оси Z , $U2$ осуществляет вращение одного кубита вокруг $X+Y$ осей. Вентиль $U3$ – это универсальный однокубитный поворотный затвор с тремя углами Эйлера.

Следует обратить внимание на одно из фундаментальных свойств квантовых вычислений – квантовый параллелизм (quantum parallelism). Например, если применить оператор «инверсии» к некоторому кубиту, имеющему вероятности появления λ и β в крайних состояниях, соответственно ноль и единица, то кубит перейдет в состояние 0 с вероятностью β , а в состояние единица с вероятностью λ . В результате одной операции изменились сразу оба состо-

яния кубита. В этом смысле вычисления проводятся параллельно. Подобным образом проводятся вычисления с трёхкубитными, четырёхкубитными и более сложными системами. В квантовой системе, состоящей из n кубитов, возможны 2^n значений состояний, определяемых амплитудами вероятности. Если кубиты в системе запутаны, то измерение одного кубита всегда выводит его из состояния запутанности с остальными кубитами и приводит в одно из двух чистых базисных состояний. При этом квантовое состояние всей системы кубитов изменяется скачкообразно по определённому закону. Свойство квантового параллелизма позволяет использовать сразу все состояния кубитов и вычислять функцию состояния квантовой системы в целом.

Существует универсальный набор вентилях, которого достаточно для выполнения любого квантового вычисления. Например, универсальным является набор, включающий вентиль Адамара, вентиль фазового сдвига, вентиль CNOT и вентиль $\pi/8$. С их помощью можно выполнить любое квантовое вычисление на произвольном наборе кубитов [40].

Всё чаще вместо отдельных квантовых вентилях используются универсальные квантовые вентили. В различных типах квантовых компьютеров состояние кубитов контролируется по-разному. Например, в квантовых компьютерах на основе нейтральных ядер состояние кубита определяется с помощью фотонов, которые атом испускает, переходя с одного энергетического уровня на другой. В работе [41] предложена конструкция универсального квантового вентиля, в котором каналы фотонных волноводов переключаются с помощью внешних управляющих сигналов (рис. 6) [42].

За основу в схеме, показанной на рис. 6, взят оператор SWAP, реализуемый в классе управляемых квантовых вентилях. На вход простейшего управляемого вентиля SWAP подаётся управляющий и один управляемый кубит. Вентиль срабатывает в зависимости от состояния управляющего кубита.

В рассматриваемой схеме используются три кубита – два вычислительных и один управляющий. Вентиль меняет состояния двух кубитов в зависимости от состояния третьего, управляющего кубита. Если управляющий вентиль находится в состоянии «единица»,

то клапан меняет местами выходные каналы (рис. 6). Использование запутанных фотонов позволило контролировать операцию SWAP, поскольку путь по каналу, который выбирался для одного фотона, однозначно определял канал прохождения для другого фотона. Подробное описание этого эксперимента приведено в оригинальной статье.

Одна из самых существенных проблем в квантовых компьютерах связана с ошибками вычисления. Неправильное срабатывание клапанов, случайные сбои в системе считывания, потеря когерентности и другие причины могут приводить к значительным вычислительным ошибкам. Для коррекции ошибок используются специальные методы и дополнительные кубиты, о которых будет сказано ниже.

Важными характеристиками квантового компьютера являются время жизни кубита (qubits lifetime) и время когерентности кубита (qubits coherence time).

Время, в течение которого кубит находится в изолированном квантовом состоянии суперпозиции, при котором

кубит сохраняет запутанность и свою информативность, называется временем когерентности.

Время, в течение которого кубит может сохранять свои состояния «0» или «1», в которые он перешёл при схлопывании волновой функции в процессе вычислений, называется временем жизни кубита.

В среднем современные кубиты на сверхпроводящих транзонах могут иметь времена жизни около 50 микросекунд и времена когерентности примерно 20 микросекунд. Хотя есть работы, указывающие и на более длительные времена жизни кубита. Например, совсем недавно появилась статья, в которой описан процесс сухого травления танталовой пленки, в результате которого были получены транзональные кубиты с временами жизни около 500 мкс [43].

Такие времена жизни означают, что после начала работы квантового компьютера нужно провести сами вычисления и коррекцию ошибок в первые 20 мкс и завершить расчёты в течение 50 микросекунд. Это связано с достаточно серьёзными технологическими

проблемами, сдерживающими развитие UDQC в настоящее время.

Для манипуляций с кубитами и управлением квантовыми клапанами в зависимости от типа используемых кубитов используются различные методы. Например, в большинстве компьютеров с кубитами на сверхпроводниках применяются методы управления с помощью высокочастотных посылок с длительностью импульсов порядка 50 нс.

Алгоритмы для квантовых компьютеров являются неотъемлемой частью квантовых вычислений и во многом зависят от аппаратной реализации конкретной модели. Так же как и в случае компьютеров КДЛ, квантовые алгоритмы определяют последовательность унитарных операций для клапанов с указанием кубитов, над которыми их надо совершить (quantum gate array).

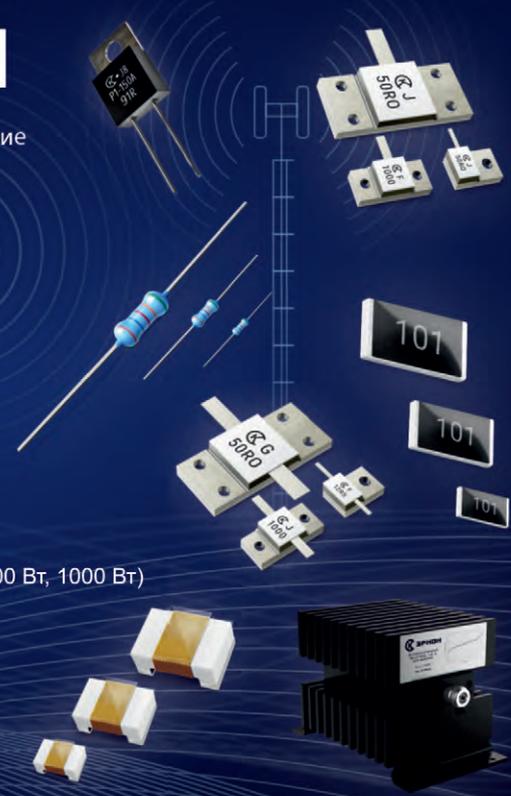
Стандартные квантовые алгоритмы описываются в терминах процедур высокого уровня, таких, например, как арифметические операции или специальные преобразования типа преобразования Фурье.

Критерий выбора того или иного алгоритма определяется типом постав-



Акционерное общество ЭРКОН

Научно-производственное объединение



ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база.
- Высокое качество.
- Индивидуальный подход к потребителю.

НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (50 Вт)
 Аттенуаторы ПР1-25 (50 Вт, 100 Вт, 150 Вт, 250 Вт, 300 Вт, 500 Вт, 1000 Вт)
 ТПИ - тепловые чип-перемычки
 СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)
 Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)

603104, Г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
 тел.: 8 (831) 202 - 24 - 34 (многоканальный)
 8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)
 E-mail: info@erkon-nn.ru
 www.erkon-nn.ru

ленной задачи. Подробно эти вопросы рассмотрены в [44].

В настоящее время известны 63 квантовых алгоритма, которые были опубликованы в ведущих научных журналах мира. Их перечень, составленный программистом из корпорации Microsoft Скоттом Джорданом, приведён в онлайн-каталоге квантовых алгоритмов «Quantum Algorithm Zoo» [45].

Анализ некоторых из существующих квантовых алгоритмов на русском можно найти в работе [46]. Достаточно подробно и доходчиво основы квантовых вычислений рассмотрены в руководстве [47].

Огромную образовательную роль играют обучающие сайты ведущих разработчиков квантовых вычислений. Так, корпорация IBM реализовала открытую программу обучения работе с квантовым компьютером «IBM Q Experience». В рамках этой программы любой, зарегистрировавшийся на сайте концерна, получает доступ к платформе «IBM Quantum Composer» с открытым исходным кодом «Quiskit» [48]. Систему «IBM Q Experience» кроме сотен тысяч частных физических пользователей поддерживают около 100 таких известных мировых фирм, как, например, Delta Air Lines, Anthem Health, Daimler AG и другие. Цели и задачи у партнёров проекта самые различные. Так, Delta Air Lines надеется с помощью квантовых вычислений разработать новое машинное масло с молекулярными присадками. Автомобильный гигант Daimler AG экспериментирует с расчётами аккумуляторов для электромобилей следующего поколения.

В 2020 году начали полностью функционировать ещё две аналогичные открытые платформы по обучению квантовым вычислениям – Microsoft Azure Quantum [49], Amazon Braket [50]. Недавно Google анонсировал новую библиотеку под названием TensorFlow Quantum. TensorFlow – это библиотека с открытым исходным кодом, используемая для машинного обучения на различных языках программирования. Библиотека использовалась такими компаниями, как Airbnb для распознавания изображений, GE для интеллектуальной визуализации мозга и рядом других крупных компаний [51]. Об основных этапах развития квантовых компьютеров будет рассказано во 2-й части статьи.

Литература

- URL: <https://quantum-computing.ibm.com/composer/docs/ixq/guide/shors-algorithm>.
- URL: https://www.washingtonpost.com/world/national-security/nsa-seeks-to-build-quantum-computer-that-could-crack-most-types-of-encryption/2014/01/02/8fff297e-7195-11e3-8def-a33011492df2_story.html.
- URL: <https://www.express.co.uk/news/science/841491/hacking-encryption-quantum-computer-physics>.
- URL: <https://futurism.com/worlds-leading-physicist-says-quantum-computers-are-tools-of-destruction-not-creation>.
- URL: <https://www.cyber.gov.au/acsc/view-all-content/publications/post-quantum-cryptography>.
- URL: <https://arxiv.org/pdf/1312.2316.pdf>.
- URL: <https://www.etsi.org/technologies/quantum-safe-cryptography>.
- URL: <https://media.nature.com/original/magazine-assets/d41586-021-03476-5/d41586-021-03476-5.pdf>.
- URL: <https://quantumbrilliance.com/>.
- URL: <https://research.ibm.com/blog/quantum-entanglement-forging>.
- URL: <https://news.columbia.edu/news/toward-quantum-computer-calculates-molecular-energy>.
- URL: <https://newsroom.ibm.com/2021-11-16-IBM-Unveils-Breakthrough-127-Qubit-Quantum-Processor>.
- URL: <https://towardsdatascience.com/the-variational-quantum-eigensolver-explained-adcbc9659c3a>.
- URL: <https://www.nature.com/articles/s41534-020-0259-3>.
- URL: <https://www.dwavesys.com/>.
- URL: <https://www.idquantique.com/>.
- URL: <https://www.magiqtech.com/company/>.
- URL: [https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y#:~:text=Quantum%20warfare%20\(QW\)%20is%20warfare,as%20well%20as%20ethics%20issues](https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y#:~:text=Quantum%20warfare%20(QW)%20is%20warfare,as%20well%20as%20ethics%20issues).
- URL: <https://thequantuminsider.com/2022/05/07/the-whos-who-of-quantum-a-directory-of-40-quantum-companies-from-around-the-world>.
- URL: <https://www.patinformatics.com/quantum-computing-report>.
- URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01402390.2021.1973658>.
- URL: <https://spectrum.ieee.org/quantum-computing-china>.
- URL: <https://habr.com/ru/post/496570/>.
- URL: https://mipt.ru/news/fiziki_mfti_priblizili_sozdanie_kvantovogo_kompyutera_v_rossii.
- URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-28_v_rossii_sozdan_kvantovyj.
- URL: <https://mipt.ru/alumni/intervyu-s-vypusknikami/mikhail-lukin-vse-budet-khorosho.php>.
- URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1070-1>.
- URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1098553.pdf>.
- URL: https://physics.whu.edu.cn/dfiles/wenjian/1_00_QIC_Feynman.pdf.
- URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Quantum-theory%2C-the-Church%E2%80%93Turing-principle-and-the-Deutsch/6b0f06617d9f5256a80ed62d9398acb92a55a6bd>.
- URL: <http://philsci-archive.pitt.edu/17688/1/de%20Ronde%20-%20QM%20Needs%20No%20Interpretation.pdf>.
- URL: <https://physicstoday.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.1768652>.
- URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/351628/>.
- URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/351634/>.
- URL: <https://quantum-computing.ibm.com/composer/docs/ixq/terms-glossary>.
- URL: https://www.researchgate.net/publication/334438648_Imaging_Bell-type_nonlocal_behavior.
- URL: <https://arxiv.org/pdf/1807.07112.pdf>.
- URL: <https://journals.aps.org/prabstract/10.1103/PhysRevA.103.032433>.
- URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9274431>.
- URL: <http://theor.jinr.ru/~diastp/april06/lectures/gerdt/gerdt.pdf>.
- URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1501531>.
- URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1501531>.
- URL: <https://www.nature.com/articles/s41534-021-00510-2.pdf>.
- URL: https://www.researchgate.net/publication/326959129_An_Introduction_to_Quantum_Search_Algorithm_and_Its_Implementation_Proceedings_of_ICDMAI_2018_Volume_1.
- URL: <https://quantumalgorithmzoo.org/>.
- URL: <https://www.rjt-mirea.ru/jour/article/view/138>.
- URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TORGAEV/academic/Tab1/Tab/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%9A%D0%92.pdf>.
- URL: <https://quantum-computing.ibm.com/>.
- URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/free/>.
- URL: <https://aws.amazon.com/ru/braket/>.
- URL: <https://www.tensorflow.org/>.

Проектирование источников питания

Фредерик Досталь

В этой статье представлены простые для понимания концепции проектирования источников питания. В первой главе рассматриваются LDO-стабилизаторы и импульсный источник питания, а также наиболее распространённые неизолированные топологии, используемые для SMPS. Глава 2 посвящена специализированным топологиям, общим изолированным топологиям и расширенным изолированным топологиям источников питания. В главе 3 говорится о проектировании, затрагиваются такие темы, как цифровые источники питания, снижение электромагнитных помех, основы фильтрации и появление бесшумных коммутаторов.

В статье даётся обзор возможностей проектирования источников питания: будут рассмотрены основные и часто используемые топологии изолированных и неизолированных источников питания, а также их преимущества и недостатки. Кроме того, обсуждаются вопросы электромагнитных помех и их фильтрации.

Большинству электронных систем требуется некое преобразование между напряжением источника питания и напряжением схемы, которая должна быть запитана. Когда батареи разряжаются, напряжение падает. Преобразование постоянного тока может гарантировать, что гораздо больше энергии, хранящейся в батарее, будет использоваться для питания схемы. Кроме того, с линией 110 В переменного тока, например, невозможно напрямую питать такой полупроводник, как микроконтроллер.

Поскольку преобразователи напряжения, также называемые источниками питания, используются почти в каждой электронной системе, они на протяжении многих лет оптимизировались в различных целях. Некоторые из этих целей – размер решения, эффективность преобразования, устойчивость к электромагнитным помехам и стоимость.

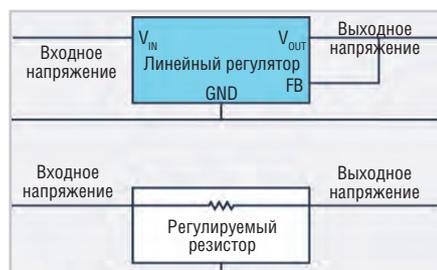


Рис. 1. Линейный регулятор преобразует одно напряжение в другое

Глава I

Простейший источник питания: LDO

Одной из самых простых форм источника питания является регулятор с малым падением напряжения (LDO). LDO – это линейные регуляторы, в отличие от импульсных. Линейные регуляторы помещают перестраиваемый резистор между входным напряжением и выходным напряжением. Это означает, что выходное напряжение фиксируется независимо от того, как изменяется входное напряжение и какой ток нагрузки проходит через устройство. На рис. 1 показан основной принцип работы этого простого преобразователя напряжения.

В течение многих лет типичный преобразователь мощности состоял из трансформатора на 50 или 60 Гц, подключённого к электросети, с определённым соотношением обмоток для создания нерегулируемого выходного напряжения – на несколько вольт выше, чем необходимое напряжение питания в системе. Затем с помощью линейного регулятора это напряжение преобразовывалось в хорошо отрегулированное по мере необходимости для электроники. На рис. 2 показана блок-схема этой концепции.

Проблема с базовой установкой, рассмотренная на рис. 2, заключается



Рис. 2. Линейный трансформатор, за которым следует линейный регулятор

в том, что трансформатор 50/60 Гц относительно громоздкий и дорогой. Кроме того, линейный регулятор рассеивает довольно много тепла, поэтому общий КПД системы низок, а избавиться от выделяемого тепла при высокой мощности системы довольно затруднительно.

Импульсные источники питания спешат на помощь

Чтобы избежать недостатков источника питания, показанных на рис. 2, были изобретены импульсные источники питания (SMPS). Они не зависят от переменного напряжения 50 или 60 Гц. SMPS потребляют постоянное напряжение, иногда выпрямленное переменное напряжение, и генерируют переменное напряжение гораздо более высокой частоты, чтобы использовать трансформатор гораздо меньшего размера. В неизолированных системах они могут выпрямлять напряжение с помощью LC-фильтра для создания постоянного выходного напряжения.

Преимущества SMPS заключаются в небольшом размере решения и относительно низкой стоимости. Генерируемое переменное напряжение не обязательно должно быть синусоидальным. Простая форма сигнала ШИМ будет работать очень хорошо, и её легко сгенерировать с помощью генератора ШИМ и переключателя.

До 2000 года биполярные транзисторы были самыми часто используемыми переключателями. Они могли работать хорошо, но имели относительно низкую скорость переключения. Помимо того, они были не очень энергоэффективными, так как ограничивали частоту переключения на 50 кГц или, в лучшем случае, на 100 кГц.

Сегодня мы используем переключающие МОП-транзисторы вместо биполярных транзисторов, что позволяет

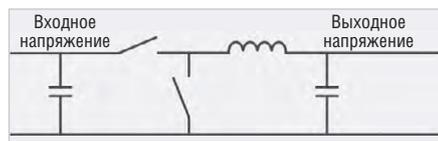


Рис. 3. Концепция простого понижающего преобразователя

гораздо быстрее переключать переходы. Это, в свою очередь, снижает потери при переключении, позволяя использовать частоты переключения до 5 МГц. Такие высокие частоты переключения позволяют использовать очень маленькие катушки индуктивности и конденсаторы в силовом каскаде.

Импульсные регуляторы имеют много преимуществ. Как правило, они обеспечивают энергоэффективное преобразование напряжения, позволяют повышать и понижать напряжение, а также имеют относительно компактные и недорогие конструкции. Недостатки заключаются в том, что их не так просто спроектировать и оптимизировать, и они генерируют электромагнитные помехи из-за переключения переходов и частоты переключения. Доступность регуляторов SMPS, а также инструментов проектирования источников питания, таких как LTpowerCAD и LTspice, значительно упростили этот сложный процесс проектирования. С помощью этих инструментов процесс проектирования схемы SMPS может быть полуавтоматизирован.

Изоляция в источниках питания

При проектировании источника питания первым делом возникает вопрос о том, требуется ли гальваническая развязка. Гальваническая развязка используется по нескольким причинам. Она делает схемы более безопасными, позволяет работать с плавающей системой и предотвращает распространение шумовых токов заземления через различные электронные устройства в одной схеме. Двумя наиболее распространёнными изолированными топологиями являются обратногоходовой и прямой преобразователи. Однако для более высокой мощности используются другие изолированные топологии, такие как двухтактная, полумостовая и полная мостовая.

Если гальваническая развязка не требуется, то в большинстве случаев используется неизолированная топология. Для изолированных топологий всегда требуется трансформатор, который имеет свойство быть дорогим, гро-

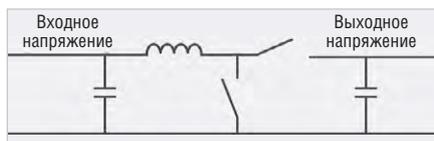


Рис. 4. Концепция простого повышающего преобразователя

моздким и часто труднодоступным в готовом виде с соответствием точным требованиям пользовательского источника питания.

Наиболее распространённые топологии, когда изоляция не требуется

Понижающий

Наиболее распространённой топологией неизолированного SMPS является понижающий преобразователь. Он принимает положительное входное напряжение и генерирует выходное напряжение ниже входного. Понижающий преобразователь – это одна из трёх основных топологий импульсных источников питания, для которых требуется всего два переключателя, два конденсатора и катушка индуктивности.

На рис. 3 показан основной принцип топологии понижающего преобразователя. Переключатель верхнего плеча подаёт импульс тока со входа и генерирует напряжение узла переключения, чередующееся между входным напряжением и напряжением земли. LC-фильтр принимает это импульсное напряжение на коммутационном узле и генерирует выходное напряжение постоянного тока. В зависимости от рабочего цикла ШИМ-сигнала, управляющего переключателем верхнего плеча, генерируется различный уровень постоянного выходного напряжения. Этот понижающий преобразователь постоянного тока очень энергоэффективен, относительно прост в сборке и требует небольшого количества компонентов.

Понижающий преобразователь подаёт импульсный ток на вход, а на выход подаётся непрерывный ток, поступающий от катушки индуктивности. По этой причине понижающий регулятор очень шумит на входе и не так шумит на выходе. Понимание этого важно при проектировании систем с низким уровнем шума.

Повышающий

Помимо понижающей («buck»), второй базовой топологией является повышающая («boost») (рис. 4). В ней исполь-

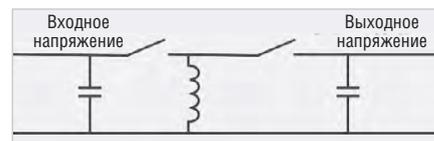


Рис. 5. Концепция простого инвертирующего повышающе-понижающего преобразователя

зуются те же пять основных силовых компонентов, что и в понижающем преобразователе, но они перегруппированы таким образом, что индуктор находится на входе, а переключатель верхнего плеча – на выходе. Топология «buck» используется для повышения определённого входного напряжения до выходного напряжения, которое выше, чем входное.

При выборе повышающего преобразователя важно учитывать, что в его спецификациях всегда указывают максимальный номинальный ток переключения, а не максимальный выходной ток. В понижающем преобразователе максимальный ток переключения напрямую связан с максимально достижимым выходным током, не зависящим от соотношения между входным и выходным напряжениями. В повышающем стабилизаторе коэффициент напряжения напрямую влияет на возможный максимальный выходной ток, основанный на фиксированном максимальном токе переключения. При выборе подходящей микросхемы повышающего стабилизатора необходимо знать не только требуемый выходной ток, но также входное и выходное напряжения разрабатываемой схемы.

Повышающий преобразователь имеет очень низкий уровень шума на входе, потому что индуктор на одной линии с входным соединением предотвращает быстрые изменения тока. Однако на стороне выхода эта топология довольно шумная.

Понижающе-повышающий

Третья базовая топология, состоящая только из пяти основных компонентов, представляет собой инвертирующий повышающе-понижающий преобразователь (рис. 5). Название происходит от того факта, что этот преобразователь принимает положительное входное напряжение и преобразует его в отрицательное выходное напряжение. Кроме того, входное напряжение может быть выше или ниже абсолютного инвертированного выходного напряжения. Например, выходное напряжение –12 В может быть сгене-

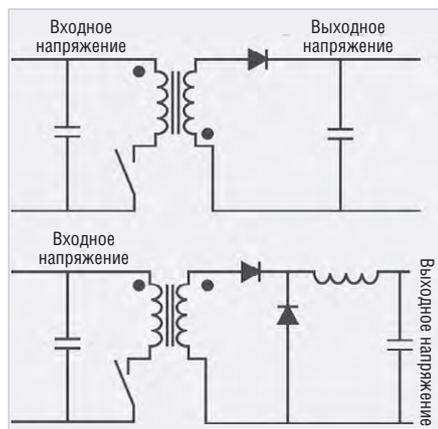


Рис. 6. Показаны топологии обратноходового преобразователя (вверху) и прямого преобразователя (внизу)

рировано из 5 В или 24 В на входе. Это возможно без каких-либо специальных модификаций схемы.

В инвертирующей повышающе-понижающей топологии катушка индуктивности подключается от узла переключателя к земле. На стороне входа, а также на стороне выхода преобразователя протекает импульсный ток, что делает эту топологию относительно шумной с обеих сторон. В приложениях с низким уровнем шума эта особенность компенсируется добавлением дополнительных входной и выходной фильтраций.

Одним весьма положительным аспектом топологии инвертирующего повышающе-понижающего преобразователя является то, что для такого преобразователя можно использовать любую микросхему импульсного понижающего стабилизатора. Это также просто, как подключить выходное напряжение понижающей цепи к заземлению системы. Заземление цепи понижающего преобразователя станет скорректированным отрицательным напряжением. Этой простотой обусловлен большой выбор импульсных регуляторов ИС на рынке.

Глава 2

Помимо трёх основных неизолированных топологий импульсного источника питания, рассмотренных в первой главе, доступно множество других топологий. Однако все они требуют дополнительных компонентов питания, что обычно делает их более дорогими и снижает эффективность преобразования энергии. За некоторыми исключениями, добавление дополнительных компонентов в цепь питания обычно увеличивает потери.

Одними из самых популярных топологий являются SEPIC, Zeta, Ćuk и

понижающе-повышающий с четырьмя переключателями. Каждая из них предлагает функции, недоступные в трёх основных топологиях. К наиболее важным особенностям каждой топологии относятся:

- SEPIC может генерировать положительное выходное напряжение из положительного входного напряжения, которое может быть выше или ниже выходного напряжения. ИС повышающего регулятора могут использоваться для разработки источника питания SEPIC. Недостатком этой топологии является необходимость использования второй катушки индуктивности или одной связанной катушки индуктивности и конденсатора SEPIC;
- преобразователь Zeta похож на SEPIC, но он способен генерировать положительное или отрицательное выходное напряжение. Кроме того, он не имеет нуля в правой полуплоскости (ПНПЗ), что упрощает контур регулирования. Для такой топологии можно использовать ИС понижающего преобразователя;
- преобразователь Ćuk предлагает инвертирование положительного входного напряжения в отрицательное выходное напряжение. В нём используются две катушки индуктивности, одна на входе и одна на выходе, что обеспечивает довольно низкий уровень шума на входе и выходе. Недостатком является то, что только несколько импульсных ИС преобразования мощности поддерживают эту топологию, поскольку для контура регулирования требуется вывод отрицательной обратной связи по напряжению;
- понижающе-повышающий с четырьмя переключателями преобразователь стал довольно популярным в последние годы. Он позволяет получать положительное выходное напряжение от положительного входного напряжения. Входное напряжение может быть выше или ниже отрегулированного выходного напряжения. Этот преобразователь заменяет многие конструкции SEPIC, поскольку обеспечивает более высокую эффективность преобразования мощности и требует только одного индуктора.

Наиболее распространённые изолированные топологии

Помимо неизолированных топологий, в некоторых приложениях тре-

буются преобразователи мощности с гальванической развязкой, исходя из соображений безопасности, необходимости наличия плавающего заземления в более крупных системах, в которых соединены различные цепи, или предотвращения образования контуров заземления в приложениях, чувствительных к помехам. Наиболее распространёнными топологиями изолированных преобразователей являются обратноходовые и прямоходовые преобразователи.

Обратноходовой преобразователь обычно используется для уровней мощности до 60 Вт. Схема работает таким образом, что во время включения энергии накапливается в трансформаторе. В нерабочее время эта энергия высвобождается на вторичной обмотке преобразователя, питая выход.

Этот преобразователь прост в изготовлении, но требует относительно больших трансформаторов для хранения всей энергии, необходимой для правильной работы. Такая особенность ограничивает топологию более низкими уровнями мощности. На рис. 6 вверху показан обратноходовой преобразователь, а внизу – прямой преобразователь.

Помимо обратноходового преобразователя, также очень популярен прямоходовой преобразователь. Он использует трансформатор иначе, чем обратноходовой. Во время включения, пока ток протекает через первичную обмотку, ток также протекает через вторичную обмотку.

Энергия не должна накапливаться в сердечнике трансформатора. После каждого цикла переключения нужно убедиться, что вся намагниченность сердечника сбрасывается до нуля, чтобы трансформатор не насыщался после нескольких циклов переключения. Такое выделение энергии из ядра может быть достигнуто с помощью нескольких различных технологий. Одним из популярных способов является использование активных клещей с небольшим дополнительным переключателем и конденсатором.

На рис. 7 показана схема среды моделирования LTspice конструкции прямого активного зажима с использованием ADP1074. В прямоходовом преобразователе на выходном пути имеется дополнительная катушка индуктивности по сравнению с обратноходовым преобразователем (рис. 6). Несмотря на то что это ещё

один дополнительный компонент, занимающий много места и требующий затрат, он помогает генерировать более низкое шумовое выходное напряжение по сравнению с обратнoходовым преобразователем. Кроме того, размер трансформатора, необходимый для прямого преобразователя с тем же уровнем мощности, что и для обратнoходового преобразователя, может быть намного меньше.

Продвинутые изолированные топологии

Помимо обратнoходовой и прямой топологий, существует множество концепций гальванически изолированных преобразователей на основе трансформаторов. В следующем списке представлены основные сведения о наиболее распространенных из этих преобразователей:

- двухтактный: топология двухтактного типа аналогична прямому преобразователю. Однако вместо одного переключателя нижнего плеча эта топология требует двух активных переключателей нижнего плеча. Кроме того, требуется первичная обмотка трансформатора с центральным отводом. Преимуществом двухтактного преобразователя является работа с более низким уровнем шума по сравнению с прямым преобразователем. Кроме того, ему подходит трансформатор меньшего размера. Гистерезис кривой ВН трансформатора используется в двух квадрантах, а не только в одном;
- полумостовая/полномостовая: эти две топологии обычно используются для проектов с более высокой мощностью от нескольких сотен ватт до нескольких киловатт. Для них требуются переключатели верхнего плеча в дополнение к переключателям нижнего плеча, но они обеспечивают передачу очень высокой мощности с относительно небольшими трансформаторами;
- ZVS: термин «переключение при нулевом напряжении» (Zero Voltage Switching) часто используется при обсуждении мощных изолированных преобразователей. Другой термин для таких преобразователей – преобразователи LLC (индуктор-индуктор-конденсатор). Эти архитектуры нацелены на очень высокую эффективность преобразования. Они создают резонансный контур и переключают силовые ключи, когда на-

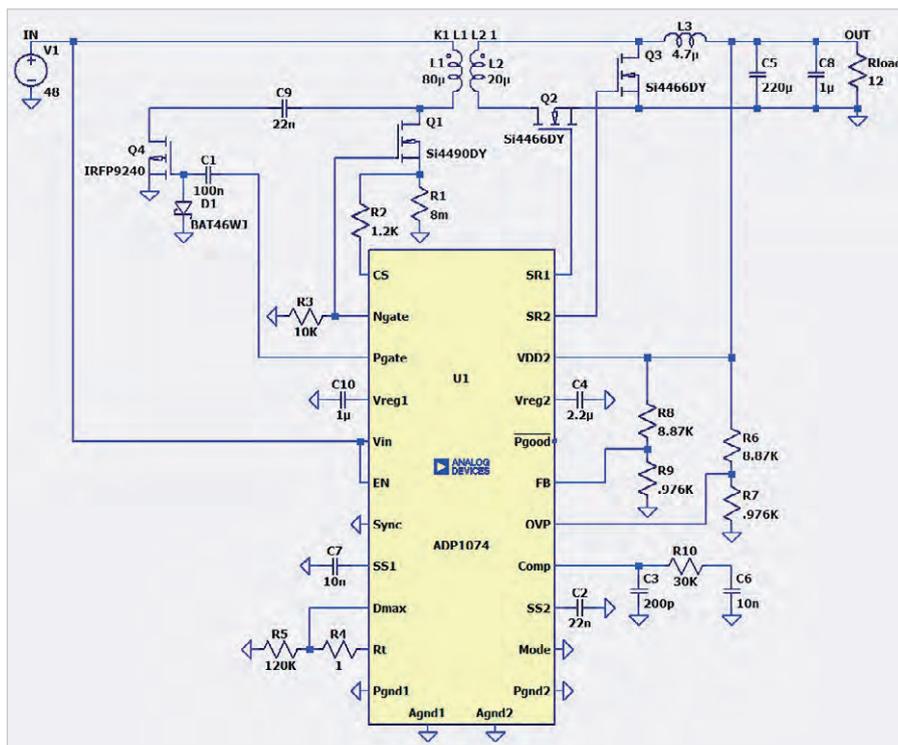


Рис. 7. Схема прямой активной фиксации использует ADP1074 для генерации изолированного выходного напряжения, как смоделировано в LTspice

пряжение или ток на ключах близки к нулю, что минимизирует коммутационные потери. Однако такие конструкции могут быть сложными в разработке, а частота переключения не является фиксированной, что иногда приводит к проблемам с электромагнитными помехами.

Преобразователи с переключаемыми конденсаторами

В дополнение к линейным стабилизаторам и импульсным источникам питания существует третья группа преобразователей мощности – преобразователи с переключаемыми конденсаторами. Их также называют зарядовыми насосами. Преобразователи с переключаемыми конденсаторами, в которых для умножения или инвертирования напряжения используются переключатели и конденсаторы, обладают существенным преимуществом, заключающимся в отсутствии необходимости в катушке индуктивности.

Обычно такие преобразователи используются для низких уровней мощности ниже 5 Вт. Однако недавние разработки позволили использовать преобразователи с переключаемыми конденсаторами гораздо большей мощности. На рис. 8 показан LTC7820 в исполнении мощностью 120 Вт с КПД 98,5%, преобразующий 48 В в 24 В.

Глава 3

Цифровые источники питания

Все блоки питания, обсуждаемые в этой статье, могут быть реализованы как аналоговые или цифровые блоки питания. Но что именно собой представляют цифровые? Питание всегда должно проходить через аналоговый силовой каскад с переключателями, катушками индуктивности, трансформаторами и конденсаторами.

Цифровой аспект представлен двумя цифровыми блоками. Первый – это цифровой интерфейс, который позволяет электронной системе «разговаривать» и «слушать» источник питания. Различные параметры могут быть установлены на лету, чтобы оптимизировать питание для различных условий работы. Кроме того, источник питания может обмениваться данными с главным процессором и выдавать сигналы предупреждения или неисправности. Например, система может легко контролировать ток нагрузки, превышение заданного порога или чрезмерную температуру источника питания.

Второй цифровой блок заменяет аналоговый контур регулирования. Это может работать успешно, но для большинства приложений оптимальным является стандартный аналоговый контур обратной связи с некоторым цифровым влиянием на некоторые параметры. В эти параметры входит

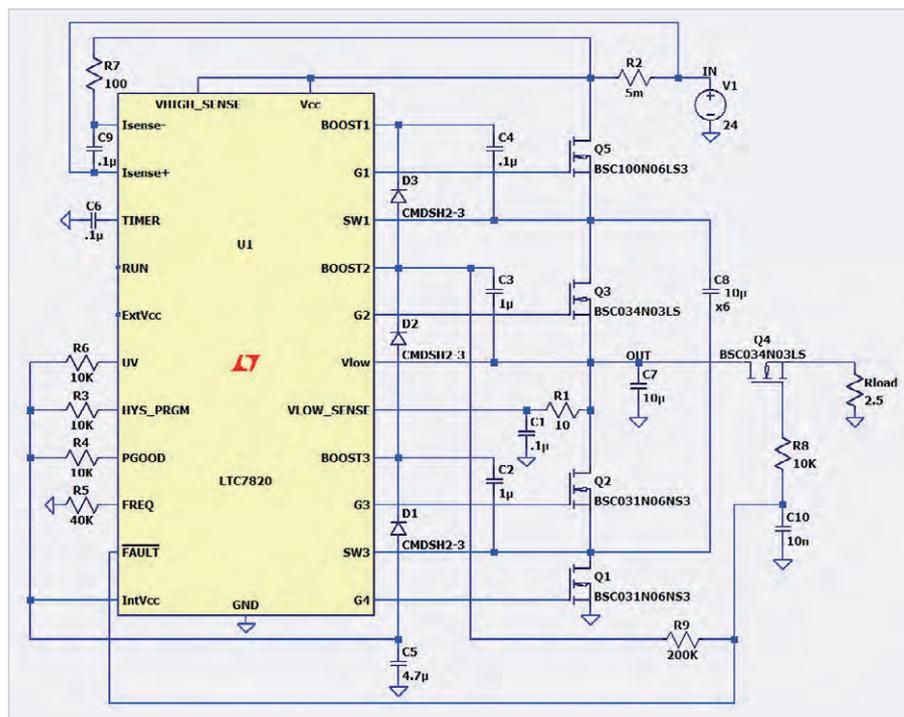


Рис. 8. LTC7820 – мощный DC-DC-контроллер зарядовой подкачки с фиксированным коэффициентом

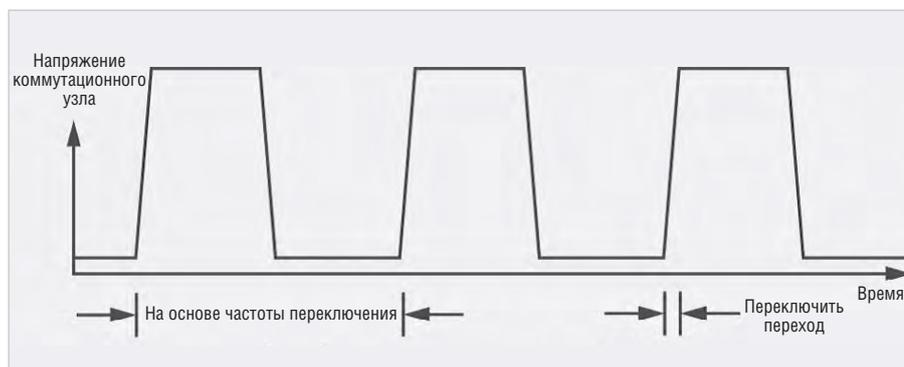


Рис. 9. Скорость переключения, а также частота переключения импульсного источника питания

регулировка коэффициента усиления «на лету» или динамическая настройка параметров компенсации контура в целях обеспечения стабильной, но при этом быстрой обратной связи.

Примером устройства с чисто цифровым контуром управления является ADP1046A, разработанный Analog Devices. Примером понижающего стабилизатора с цифровым интерфейсом и аналоговым контуром управления, оптимизированным за счёт цифровых воздействий, является LTC3883.

Об электромагнитных помехах

Электромагнитные помехи всегда являются темой, на которую следует обращать внимание при разработке импульсных источников питания. Причина в том, что SMPS включает и выключает сильноточный поток за очень короткие промежутки време-

ни. Чем быстрее переключение, тем выше общая эффективность системы. Более быстрые переходы переключения сокращают время, в течение которого переключатель частично включён. В течение этого частичного времени включения возникает наибольшее количество коммутационных потерь.

На рис. 9 показана форма сигнала коммутационного узла SMPS. Давайте представим понижающий регулятор. Высокое напряжение определяется протеканием тока через переключатель верхнего плеча, а низкое напряжение определяется отсутствием протекания тока через ключ верхнего плеча.

На рис. 9 мы видим, что SMPS генерирует шум не только из-за отрегулированной частоты переключения, но и из-за скорости перехода переключения, которая намного выше по частоте. Хотя частота переключения обычно состав-

ляет от 500 кГц до 3 МГц, время переключения может составлять несколько наносекунд. При времени переключения 1 нс мы увидим в спектре соответствующую частоту 1 ГГц. По крайней мере, обе эти частоты будут рассматриваться как излучаемое и кондуктивное излучения. Другие частоты также могут появляться из-за колебаний контура регулирования или взаимодействия между источником питания и фильтрами.

Есть две причины, по которым нужно стремиться к уменьшению электромагнитных помех. Во-первых, это защита функциональности электронной системы, питаемой от конкретного источника питания. Например, 16-разрядный АЦП, используемый в сигнальном тракте системы, не должен улавливать помехи переключения, исходящие от источника питания. Вторая причина заключается в соблюдении определённых стандартов электромагнитного излучения, которые вводятся в различных государствах для обеспечения совместимости и надёжной работы различных электронных систем.

ЭМП бывают двух видов: излучаемые и кондуктивные. Наиболее эффективным способом уменьшения излучаемых электромагнитных помех является оптимизация компоновки печатной платы и использование таких технологий, как технология «тихих переключателей» от Analog Devices. Также эффективным может быть размещение схем в экранированной металлической коробке. Однако это может быть непрактично и в большинстве случаев обходится очень дорого.

Кондуктивные электромагнитные помехи обычно ослабляются дополнительной фильтрацией. Далее будет обсуждаться такая фильтрация для уменьшения кондуктивных излучений.

Фильтрация

RC-фильтры – это базовые фильтры нижних частот. Однако в конструкции источника питания каждый фильтр представляет собой не что иное, как LC-фильтр. Часто достаточно просто добавить некоторую индуктивность последовательно, так как она образует фильтр LC или CLC вместе с входными или выходными конденсаторами SMPS. Иногда в качестве фильтров используются только конденсаторы, но, учитывая паразитную индуктивность на силовых кабелях или трассах, вместе с конденсатором лучше образовать

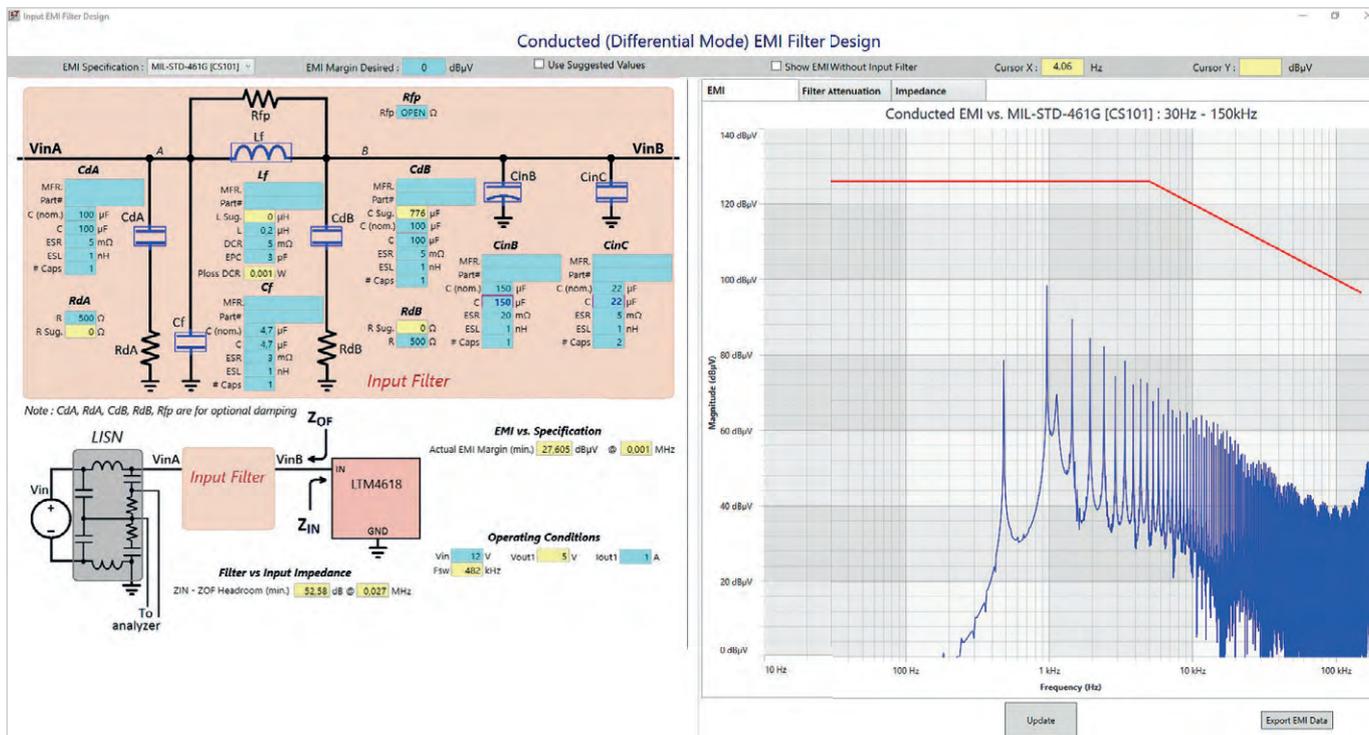


Рис. 10. Входной фильтр для понижающего регулятора, спроектированный с использованием LTpowerCAD

ещё и LC-фильтр. Катушка индуктивности L может быть катушкой индуктивности с сердечником или ферритовым кольцом.

LC-фильтр пропускает нижние частоты, так что мощность постоянного тока может проходить через него, и высокочастотные помехи в значительной степени ослабляются. LC-фильтр имеет двойной полюс, поэтому мы получаем затухание высоких частот в 40 дБ за декаду. Этот фильтр имеет относительно резкий спад.

Разработка фильтра – не ракетостроение. Однако, поскольку паразитные компоненты схемы, такие как индуктивность дорожки, оказывают влияние, создание фильтра требует моделирования основных паразитных эффектов. Это может сделать разработку фильтра довольно трудоёмкой. Многие проектировщики, имеющие опыт разработки фильтров, знают, какие фильтры работали раньше, и могут итеративно оптимизировать определённый фильтр для нового дизайна.

При проектировании всех фильтров необходимо не только учитывать поведение слабого сигнала, например, передаточную функцию фильтра на диаграмме Боде, но также учитывать влияние сильного сигнала. В любом LC-фильтре мощность проходит через катушку индуктивности. Если эта мощность больше не нужна на выходе из-за внезапного скачка нагрузки, энергия,

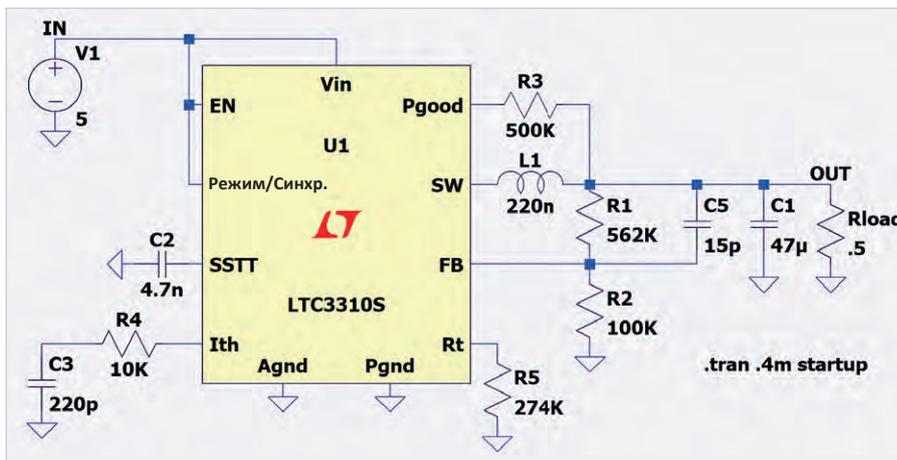


Рис. 11. Конструкция бесшумного коммутатора LTC3310S, обеспечивающая наименьшие излучаемые помехи

хранящаяся в катушке индуктивности, должна куда-то выйти. Это заряжает ёмкость фильтра. Если фильтр не предназначен для таких условий, накопленная мощность может вызвать скачки напряжения, которые способны повредить схему.

Наконец, фильтры имеют определённый импеданс. Этот импеданс взаимодействует с сопротивлениями силовых преобразователей, подключённых к фильтру. Такое взаимодействие может привести к нестабильности и колебаниям. Инструменты моделирования, такие как LTspice и LTpowerCAD от Analog Devices, могут помочь ответить на все эти вопросы и помочь с разработкой идеального фильтра. На рис. 10 показан

графический пользовательский интерфейс конструктора фильтров в среде проектирования LTpowerCAD. С помощью этого инструмента проектирование фильтров может быть значительно упрощено.

Тихие переключатели

Излучаемые выбросы трудно блокировать. Требуется специальное экранирование металлическим материалом, что может быть очень дорогостоящим. Долгое время инженеры искали способы уменьшить излучаемые помехи, создаваемые SMPS. Несколько лет назад был совершён прорыв благодаря технологии «тихих переключателей». За счёт уменьшения паразитных

индуктивностей в горячих контурах SMPS, а также путём разделения горячих контуров на два и установки их очень симметричным образом излучаемые излучения в основном компенсируют друг друга.

Сегодня доступно множество устройств с тихими переключателями (Silent Switcher), обеспечивающих гораздо более низкий уровень излучения, чем традиционные продукты. Уменьшение излучаемых помех позволяет повысить скорость переключения. Ускорение переходов переключе-

ния снижает потери и, таким образом, позволяет использовать гораздо более высокие частоты. Одним из примеров этой инновации является LTC3310S, который может работать на частоте переключения 5 МГц, что позволяет создавать чрезвычайно компактные конструкции с недорогими внешними компонентами (рис. 11).

Заключение

Управление питанием – необходимость, но оно может быть и увлекательным. В этой статье мы рассмотре-

ли многие аспекты проектирования блоков питания, включая различные топологии блоков питания, их преимущества и недостатки. Для инженеров по электроснабжению такая информация может быть очень простой. И экспертам, и неспециалистам полезно иметь такие программные инструменты, как LTpowerCAD и LTspice, которые помогают в процессе проектирования. С их помощью силовые преобразователи можно спроектировать и оптимизировать за очень короткое время. 

НОВОСТИ МИРА

Мишустин сообщил, что российская электроника будет получать беспрецедентное финансирование

В целом, по его словам, электроника является важнейшим направлением на пути достижения технологического суверенитета страны. «Конечно, это означает, что сейчас нужно активнее развивать собственное профильное машиностроение, производство технологического, вспомогательного оборудования, компонентов,

в том числе через стимулирование спроса на микроэлектронную продукцию. Мы уделяем этой сфере особое внимание», – сказал Мишустин.

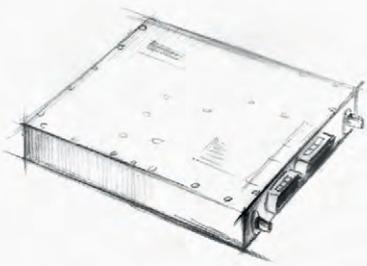
Мишустин напомнил, что президент России Владимир Путин ранее объявил в стране Десятилетие науки и технологий. «Конечно, предстоит большая совместная работа: государства, бизнеса, научного сообщества. Прежде всего по созданию наукоёмких продуктов, услуг и по обеспечению конкурентоспособности нашей страны в сфере вы-

соких технологий», – продолжил глава кабинета.

Он заметил, что во многих секторах у научных центров РФ «есть соответствующие заделы». «Конечно, их важно расширить, помочь с подготовкой кадров, совместно с промышленными партнёрами создать 50 новых лабораторий и 25 учебных дизайн-центров», – заключил Мишустин. Отдельно он обратил внимание на важность развития элементной базы, разработки интегральных схем, производства полупроводников.

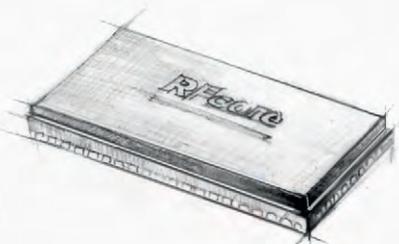


НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



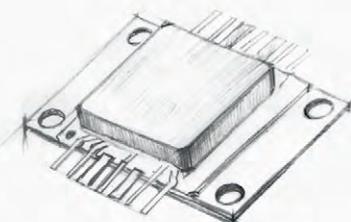
СВЧ-усилители мощности

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



Многофункциональные CMOS MMIC

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



GaN и GaAs MMIC

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



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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

Гибко-жесткие печатные платы (Delta Design)

Сергей Попов (popov.sn@eremex.ru)

Эта статья будет интересна всем, кто при проектировании электронных устройств использует различные конструкции гибко-жестких печатных плат. В статье будут рассмотрены возможности САПР Delta Design версии 3.6 по созданию таких конструкций. Также в статье будут подробно разобраны функциональные возможности, обеспечивающие правильность проектирования топологии в гибкой и переходной зонах гибко-жесткой платы.

Введение

Мобильность и портативность электронных устройств, сопровождающих человека в его повседневной жизни, предъявляет жесткие требования по своим массовым и габаритным характеристикам. Эти требования приходится учитывать инженерам-электронщикам при разработке современных устройств. Сложная внутренняя архитектура – одна материнская плата и наборы периферийных устройств, а также требования по надёжности и долговечности электронных устройств привели к тому, что одним из мировых трендов на протяжении уже долгого времени является разработка радиоэлектронных устройств с использованием гибко-жестких печатных плат (ГЖПП) [1].

Пользователи САПР Delta Design неоднократно обращались к разработчикам системы с просьбой реализовать поддержку создания гибко-жестких конструкций. Ответом на запросы пользователей стало комплексное решение, которое позволяет создавать варианты областей платы с раз-

личными наборами слоёв, и при этом осуществляет контроль правильности создания топологии в области гибкой части платы.

Новые материалы

В системе Delta Design работа над проектом печатной платы начинается с редактора «Материалы», в котором разработчик формирует необходимый ему набор конструктивных элементов печатной платы (препрег, маска, фольга, основа) и задаёт их основные характеристики: толщину, диэлектрическую проницаемость или проводимость.

Для разработки конструкций ГЖПП в системе Delta Design был модифицирован и расширен список доступных для использования конструктивных элементов. Функция конструктивного элемента «Маска» как защитного покрытия была расширена и на гибкую часть платы. Комбинация конструктивного элемента «Маска» и материала «Полиимидная плёнка» соответствует покровной плёнке. Покровная плёнка – это название защитного покрытия в гибкой области платы обычно использу-

ют инженеры-технологи. Кроме модификации маски был расширен список материалов для основ печатных плат, для них доступны материалы из полиимида. К основным характеристикам всех конструктивных элементов был добавлен параметр «Гибкость» (рис. 1). Данный параметр определяет возможность использования конструктивного элемента в гибкой и жесткой частях платы.

Разработчики Delta Design обновили таблицу, добавили в неё базовые материалы, которые наиболее часто используются производителями печатных плат (рис. 1). Новые конструктивные элементы и их материалы доступны пользователю сразу после установки системы.

В случае если на начальных этапах проектирования печатной платы пользователь не располагает данными относительно того, каким образом будет сформирован конструктив разрабатываемой платы, данный этап можно пропустить, такой сценарий вполне возможен. По мере продвижения в разработке конструкции печатной платы, после формирования и уточнения требований пользователь всегда может вернуться к таблице «Материалы» (рис. 1), дополнить и отредактировать её в соответствии с требованиями производителя.

Редактор слоёв. Стеки

Как конечное изделие, гибко-жесткая плата представляет собой единую неразборную конструкцию. На ней можно выделить два типа характерных областей: жесткую и гибкую. Эти области значительно отличаются друг от друга по своим механическим характеристикам. Процесс изготовления платы осуществляется с учётом специфики этих зон [2]. Для того чтобы учесть специфику областей гибко-жесткой конструкции и предоставить инженеру-топологу возможность правильно описать их с точки зрения используемых материалов, в системе Delta Design был изменён редактор слоёв.

В обновлённой версии редактора слоёв в таблице отображён весь список конструктивных элементов, из которых состоит гибко-жесткая плата. Для того чтобы инженер мог учи-

Конструктивный элемент	Тип материала	Наименование	Гибк.	Толщина...	Диэлектрич...	Проводимость
Маска	Эпоксидная смола с колорант...	Жидкая маска Зеленая Матовая XV-501T LD1	<input type="checkbox"/>	0,015	3,5	
Маска	Сухой плёночный фоторезист	Сухая плёночная маска Глянцевая Зеленая DYNAMASK 500...	<input type="checkbox"/>	0,04	3,56	
Маска	Сухой плёночный фоторезист	Сухая плёночная маска Глянцевая Зеленая DYNAMASK 500...	<input type="checkbox"/>	0,1	3,56	
Маска	Полиимидная плёнка	FlexJLF0210 (IPC-4203/1) PI 0,025; Ad 0,050	<input checked="" type="checkbox"/>	0,075	3,6	
Маска	Полиимидная плёнка	FlexJLF0110 (IPC-4203/1) PI 0,025; Ad 0,025	<input checked="" type="checkbox"/>	0,05	3,6	
Преппрег	Эпоксидная смола с колорантон	FR4(Tg150) тип 1080	<input type="checkbox"/>	0,076	4,1	
Преппрег	Сухой плёночный фоторезист	FR4(Tg150) тип 2116	<input type="checkbox"/>	0,125	4,1	
Преппрег	Полиимидная плёнка	FR4(Tg150) тип 7628	<input type="checkbox"/>	0,18	4,1	
Преппрег	Стеклоэпоксид	Arлон-49H тип 106 50Hмм	<input type="checkbox"/>	0,05	4,4	
Преппрег	Стеклоэпоксид	Arлон-49H тип 1080 75Hмм	<input type="checkbox"/>	0,075	4,4	
Фольга	Медь	Медь 18Hмм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,018		59500000
Фольга	Медь	Медь 35Hмм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,035		59500000
Фольга	Медь	Медь 70Hмм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,07		59500000
Основа	Стеклоэпоксид	FR4(Tg150) Ядро:0.2мм	<input type="checkbox"/>	0,2	4,3	
Основа	Стеклоэпоксид	FR4(Tg150) Ядро:1.13мм	<input type="checkbox"/>	1,13	4,3	
Основа	Медь	FR4(Tg150) IPC-4101/99 Ядро:0.2мм Фольга:18/18Hмм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,018		59500000
Основа	Стеклоэпоксид	FR4(Tg150) IPC-4101/99 Ядро:0.2мм Фольга:18/18Hмм	<input type="checkbox"/>	0,2	4,1	
Основа	Медь	FR4(Tg150) IPC-4101/99 Ядро:0.2мм Фольга:35/35Hмм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,018		59500000
Основа	Медь	FR4(Tg150) IPC-4101/99 Ядро:0.2мм Фольга:35/35Hмм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,035		59500000
Основа	Стеклоэпоксид	FR4(Tg150) IPC-4101/99 Ядро:1.13мм Фольга:1.13мм	<input type="checkbox"/>	1,13	4,6	
Основа	Медь	FR4(Tg150) IPC-4101/99 Ядро:1.13мм Фольга:1.13мм	<input checked="" type="checkbox"/>	0,035		59500000

Рис. 1. Редактор «Материалы»

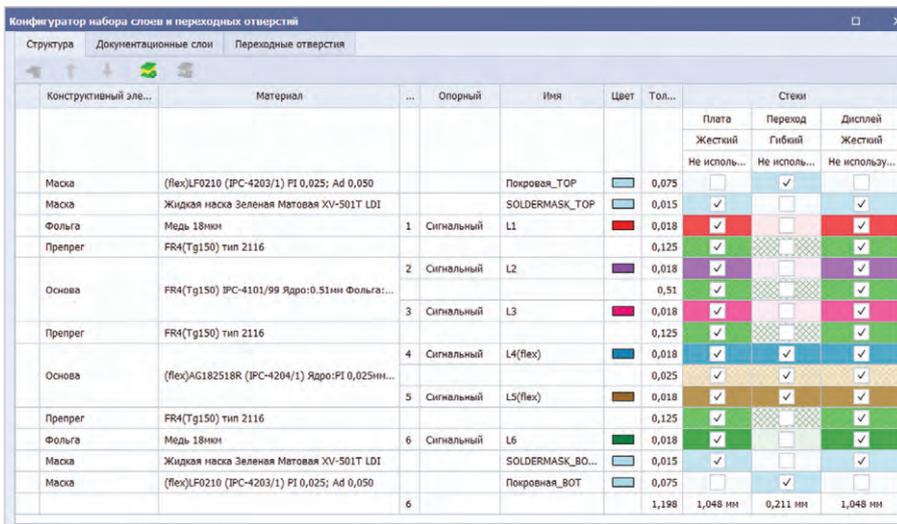


Рис. 2. Редактор слоёв с тремя стеками «Плата», «Переход», «Дисплей»

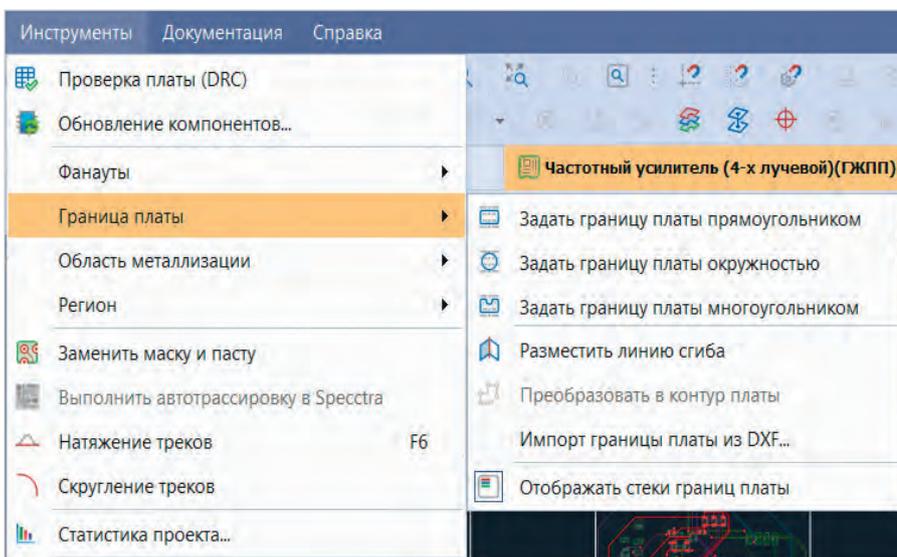


Рис. 4. Инструменты создания границы платы

тывать конструктивные особенности отдельных областей платы, в редакторе слоёв были реализованы новые объекты – стеки. Стеки – наборы конструктивных элементов (слоёв платы), обладающие признаком «жёсткий» или «гибкий». Наличие одного из данных признаков ограничивает выбор доступных конструктивных элементов, которые пользователь может включать в стек (рис. 2).

Стеки в табличном виде описывают сложную гибко-жесткую трёхмерную конструкцию. Также стеки позволяют пользователю посмотреть на плату в разрезе, в каждой из её характерных областей. В редакторе слоёв были добавлены проверки, которые отслеживают правильность создания стека каждого типа. Например, если пользователь ввёл недопустимое сочетание конструктивных элементов или не сформировал минимальный необ-

ходимый набор, то система не позволит сохранить такую конфигурацию стеков.

Изменение редактора затронуло вкладку «Переходные отверстия». В обновлённом редакторе пользователь может задать наборы стилей переходных отверстий для каждого стека (рис. 3).

Составная граница гибко-жесткой печатной платы

В новой версии системы Delta Design создание границ печатной платы происходит с помощью специализированных инструментов, расположенных в главном меню программы: «Инструменты → Граница платы → Задать границу платы ...»

Отметим, что разработчики оставили возможность использовать старый подход по формированию границы, но он потребует дополнительных шагов

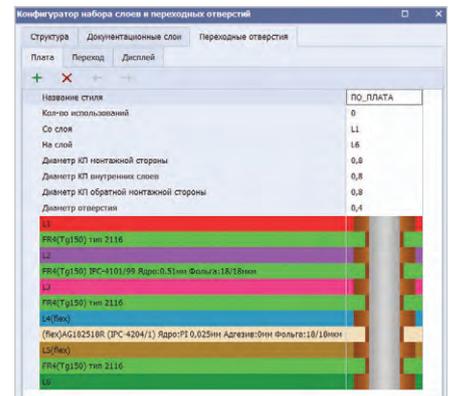


Рис. 3. Редактор слоёв. Переходные отверстия

по преобразованию обычных графических объектов в границу печатной платы. Этот путь позволит создать границу при импорте границы из машиностроительных САПР в dxf-формате. Если же пользователь создаёт новый проект и рисует контур платы самостоятельно, то наиболее правильным и надёжным способом является использование специализированных инструментов создания границы, указанных выше (рис. 4).

Чтобы нарисовать границу гибко-жесткой печатной платы, сначала инженеру необходимо отобразить её развёртку на плоскости. При этом ему нужно нарисовать границу каждой области платы и расположить получившиеся фигуры контуров платы вплотную друг к другу. В результате получается сложная граница платы, состоящая из отдельных примыкающих друг к другу областей.

Для каждой области такой сложно-составной границы печатной платы назначается стек, который был ранее создан в редакторе слоёв. После назначения стеков областям платы система начнёт контролировать то, насколько смежные области платы соотносятся друг с другом по заданным слоям в стеках.

Определение области сгиба

Для формирования областей, в которых плата подвергается механической деформации, в системе Delta Design был реализован новый инструмент – «Разместить линию сгиба». Линия сгиба – это проекция оси воображаемого цилиндра, по поверхности которого происходит сгиб гибкой части платы. Также, одновременно с проекцией оси, на плате отображается развёртка части поверхности цилиндра. Ширина развёртки определяется углом, на который плата сгибается, и радиусом воображаемого цилиндра (рис. 5).

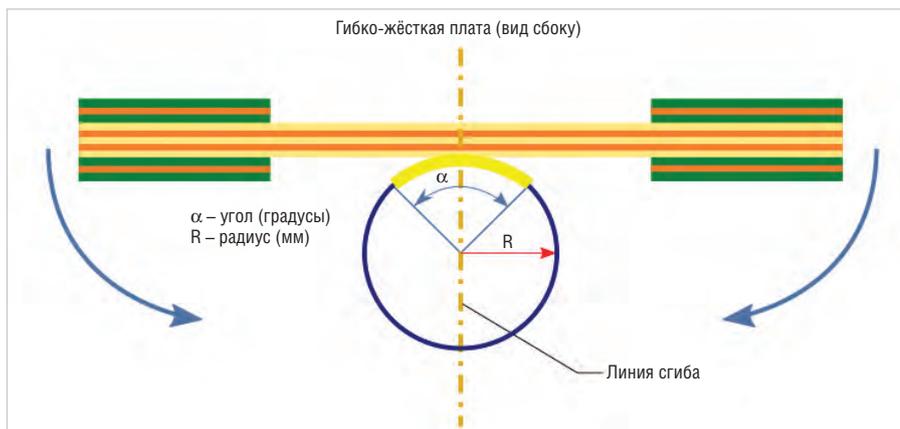


Рис. 5. Создание области сгиба. ГЖПП – вид сбоку

Значения параметров угла и радиуса указываются в свойствах нового составного объекта «Сгиб», который создаётся после окончания работы инструмента «Разместить линию сгиба». Объект – «Сгиб» описывает саму область сгиба платы, а также содержит линию сгиба, описанную выше. Пользователь может редактировать полученную область сгиба, менять её положение и наклон относительногибаемой части платы. В панели «Свойства» могут быть отредактированы значения угла и радиуса сгиба размещённой области.

3D-визуализация

После задания основных параметров области сгиба пользователь может перейти от 2D-представления платы к 3D. В Delta Design реализовано двухэтапное построение 3D-вида ГЖПП. На первом этапе плата показывается без выполнения сгиба, на втором этапе плата показывается со сгибом. Таким образом, инженер всегда может контролировать конечный результат и соотнести его со своими ожиданиями (рис. 6, 7). При необходимости 3D-вид платы может быть сохранён в stp или stl-формате.

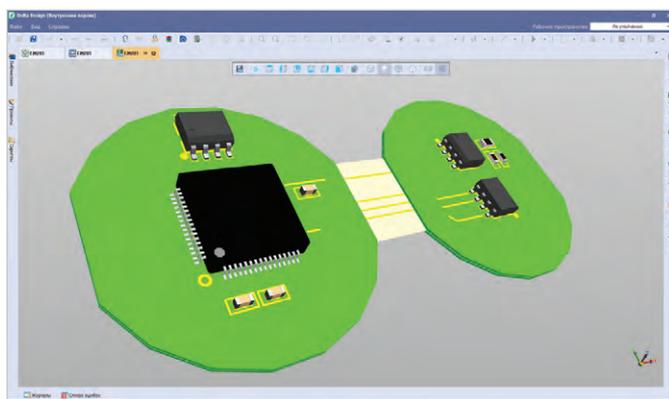


Рис. 6. 3D-вид гибко-жесткой печатной платы до сгиба

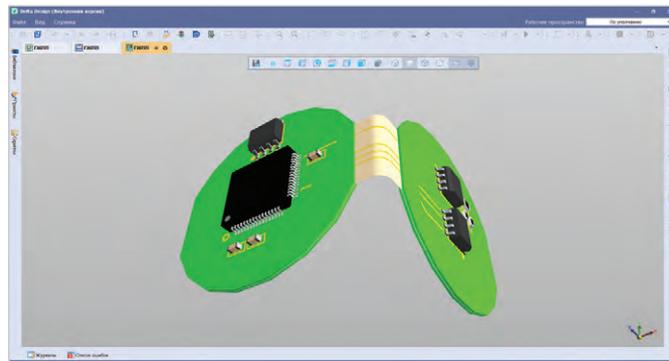


Рис. 7. 3D-вид гибко-жесткой печатной платы после сгиба. Параметры сгиба (угол 90 град, радиус 2 мм)

Правила проектирования

Для правильного создания ГЖПП были внесены дополнительные проверки в различные редакторы системы. Выше упоминалось, что в редакторе слоёв происходит контроль за правильностью наполнения жёсткого и гибкого стека. Сам редактор слоёв может быть запущен в режиме редактирования только тогда, когда все документы проекта были предварительно закрыты. В остальных случаях редактор запускается в режиме просмотра.

Редактор правил проекта был доработан, и теперь пользователь получил возможность задавать специфические наборы правил для каждого стека. В разделах «Зазоры» и «Физические» добавлены узлы, в которых пользователь определяет правила проектирования для каждой характерной области гибко-жесткой платы. Узлы именуется по названию используемых стеков (рис. 8).

Размещение компонентов

При первичном размещении компонентов в пределах границы платы система определяет, в какую область платы попадает геометрический центр размещаемого компонента. Далее для

размещаемого компонента формируются набор контактных площадок, соответствующий стеку, в области которого компонент был размещён.

Если пользователь сначала разместил компонент в жёсткой части платы, а затем решил его передвинуть в гибкую часть, то система обозначит данный компонент как компонент, размещённый с нарушением стека. Чтобы исправить данное нарушение и задать контактным площадкам компонента правильный стек, в системе реализована специальная контекстная команда «Переразместить».

Система контролирует, в каком именно месте был расположен компонент. Согласно рекомендациям производителей печатных плат, компоненты не рекомендуется размещать в области сгиба и вблизи перехода из жёсткой в гибкую часть. Если пользователь расположил компонент в области сгиба или на расстоянии меньшем, чем 1 мм от границы перехода, то DRC-проверка определит такой компонент и сообщит об этом пользователю.

Трассировка печатных проводников

Для ГЖПП характерно различное количество слоёв в гибкой и жёсткой частях. Поэтому в алгоритмы трассировки платы были внесены изменения. Теперь система отслеживает, в какой именно области в данный момент времени происходит прокладка печатного проводника, и проверит возможность перехода из одной области в другую на выбранном слое.

Delta Design контролирует и то, каким именно образом был проложен печатный проводник. Согласно рекомендациям производителей печатных плат, проводник должен располагаться ортогонально к линии сгиба и к границе, разделяющей жёсткую и

гибкую часть. Если проложить проводник под углом, отличным от 90 градусов, то при деформации платы возможно отслоение печатных проводников от полиимидного основания. Если инженер-конструктор всё же создал такую топологию печатных проводников, то DRC-проверка системы выявит такие проводники и сообщит об этом. Ещё одной важной рекомендацией является взаимное расположение проводников на соседних слоях гибкой части. Проводники рекомендуется располагать в шахматном порядке. Если проводники располагаются друг над другом, то DRC-проверка их определит и подсветит.

Аналогично тому, как система контролирует размещение компонентов в областях сгиба и в зонах перехода, также происходит контроль за размещением переходных отверстий. Размещение переходных отверстий на участках гибко-жесткой конструкции осуществляется с учётом тех же требований, что и для размещения компонентов.

Трассировка проводников дугами

Со стороны производителей существуют рекомендации по созданию правильной топологии печатных проводников в гибкой части. Рекомендуется прокладывать проводники таким образом, чтобы они повторяли геометрию границы платы. Для гибкой части платы вполне возможны сложные конфигурации и вырезы, это приводит к тому, что граница представляет собой набор отрезков и дуг различного радиуса. Чтобы повторить такую сложную геометрию у печатных проводников, следует использовать инструмент постобработки топологии – «Скругленные треки» [4].

Создание производственных файлов

Нанесение жидкой маски по всей области ГЖПП приводит к потере гибкости платы. Согласно данным от производителей [3] жидкая маска используется для «статичных» плат, а также в тех случаях, где необходимо сформировать масочные мостики определённой ширины. В большинстве же случаев для создания защитного слоя в гибкой части применяется покровная плёнка на основе материала «полиимид».

Чтобы поддержать возможность формирования двух защитных слоёв, различных как по своим параметрам, так и по способу нанесения, в Delta Design

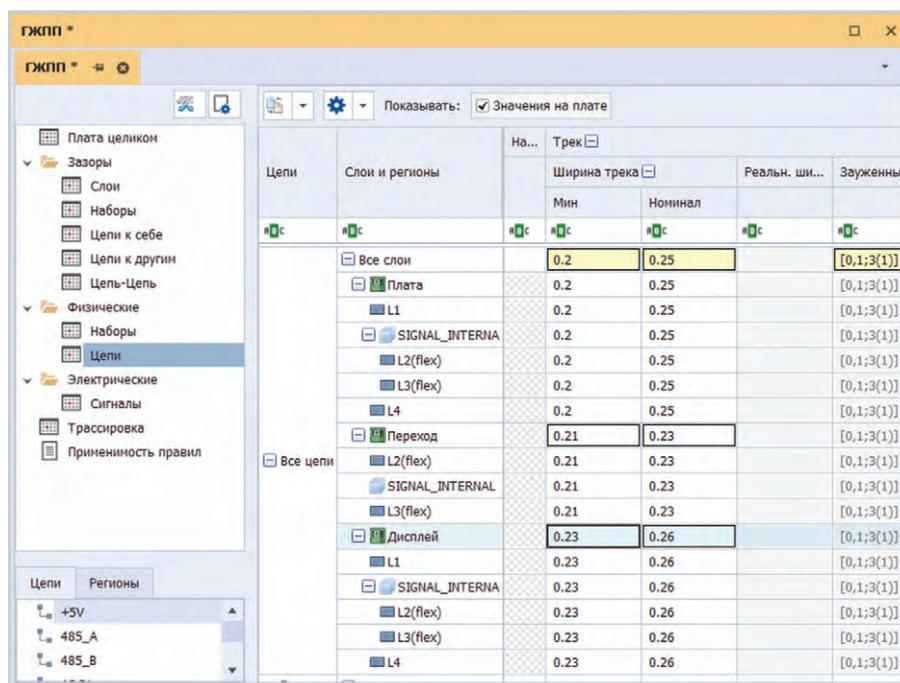


Рис. 8. Редактор правил

был расширен список материалов для выполнения защитного покрытия. Также в системе был расширен функционал по формированию защитного слоя «Инструменты» «Заменить маску и пасту». В новой версии Delta Design у пользователя есть возможность создания специфических вырезов в покровной плёнке, которые могут отличаться значениями отступа до контактных площадок, от таких же окон, созданных в слое жидкой маски. Также слой покровной пленки будет экспортироваться в отдельный гербер-файл.

Изменения произошли и в функционале экспорта границ платы. Если пользователь разрабатывает гибко-жесткую конструкцию, то вместо одного производственного файла, описывающего границу платы, система в автоматическом режиме создаст набор файлов. В набор будет входить файл с общей границей платы, а также файлы, описывающие границу каждой области, для которой был задан свой стек. Файлу с общей границей будет присвоено имя, которое пользователь задаёт в окне экспорта производственных файлов, а имена остальных файлов будут составными. Первая часть составного имени – это имя, заданное пользователем, а вторая часть – это имя стека.

Ограничения на использование функционала создания гибко-жесткой конструкции

На момент написания статьи проектирование гибко-жестких плат было

доступно только в профессиональной конфигурации системы Delta Design. Ограничения были и на использование функционала топографической трассировки TopoR. Так, если в проекте было создано два и более стеков, то вызов и использование режима TopoR становится невозможными.

В текущей версии Delta Design не отслеживается допустимое соотношение толщины и радиуса сгиба платы. Контроль за правильностью введённых значений и полученных областей сгибов лежит на самом пользователе.

Работа с проектами различных версий

В процессе разработки нового функционала по созданию проектов гибко-жестких плат в систему Delta Design было внесено большое количество изменений. Одна из задач, которая стояла перед разработчиками системы, – это задача по обеспечению преемственности ранее созданных проектов. Другими словами, для пользователя не будет значительной разницы при работе с ранее созданными проектами после перехода на новую версию системы Delta Design. Проекты, созданные в более ранних версиях системы, доступны для использования в новой версии. Однако после открытия проекта в новой версии Delta Design настоятельно не рекомендуется открывать проекты в более ранних версиях системы.

Для пользователей системы Delta Design, которые разрабатывают толь-

ко обычные жёсткие платы, в редакторе слоёв воспроизводится старое поведение системы. Для каждого вновь созданного проекта в редакторе автоматически формируется один стек жёсткой печатной платы.

Заключение

Как было отмечено в начале статьи, в САПР Delta Design реализован комплексный подход к проектированию гибко-жёстких плат. В новой версии инженер-конструктор получил широкий набор инструментов, который позволяет создать цифровой проект

печатной платы, максимально приближенный к реальной конструкции ГЖПП. Кроме этого, в систему были добавлены проверки, основанные на рекомендациях, полученных от производителей, данные проверки позволяют создавать надёжные конструкции плат.

Также отметим, что для компании Эремекс это первый шаг в направлении разработки гибко-жёстких конструкций. Существует большая вероятность того, что по мере накопления пользовательского опыта функциональные возможности системы будут дорабатываться и расширяться в соот-

ветствии с запросами пользователей, разрабатывающих различные виды гибко-жёстких печатных плат.

Литература

1. *Медведев А. и др.* Конструирование гибких и гибко-жёстких печатных плат // Компоненты и технологии. 2008. № 6. URL: https://kit-e.ru/wp-content/uploads/2008_6_147.pdf.
2. URL: <https://www.rezonit.ru/pcb/gibko-zhestkie/>.
3. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=5Y-9hiZid5P8&t=2705s>.
4. Эремекс. URL: [<https://youtu.be/fnnrIden1ZU>]. 

НОВОСТИ МИРА

СФОРМИРОВАНА ПРОГРАММА ВТОРОГО ДНЯ ПЛЕНАРНОЙ РАБОТЫ ФОРУМА «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2022»

4 октября на Российском форуме «Микроэлектроника 2022» пройдут пленарные заседания на темы «Искусственный и гибридный интеллект: ЭКБ на новых принципах, алгоритмы, модели и технологии», а также «Доверенность ЭКБ и РЭА – тема для спекуляций или объективный вызов?».

Одно из запланированных пленарных заседаний заявлено как «Доверенность ЭКБ и РЭА – тема для спекуляций или объективный вызов?». На нём будет продолжено обсуждение вопросов конкурентоспособности отечественной ЭКБ, которое началось на пленарной сессии форума в прошлом году и фокусировалось на гражданской продукции. По результатам докладов и дискуссий было отмечено, что конкурентоспособность и рыночная привлекательность отечественной ЭКБ и РЭА возможны лишь при наличии к ним доверенности, что предполагает дополнительные затраты. При этом понятие доверенности применительно к ЭКБ практически не регламентировано отечественными стандартами, а это даёт повод для субъективной трактовки и спекуляций. Отсутствуют унифицированные требования по обеспечению доверенности ЭКБ в ТЗ на ОКР и методы оценки соответствия ЭКБ этим требованиям. Эти вопросы особенно остро ощущаются в современных условиях турбулентности, когда привычные логистические каналы поставки материалов и комплектующих изделий оказались нарушены.

Под доверенностью (в широком смысле) понимается подтверждённое свойство изделия (ЭКБ, РЭА) удовлетворять потребности, в соответствии с назначением, в течение определённого срока и в условиях эксплуатации, верифицируемости, тестопригодности и соответствия документации, санкционной

стойкости, а также отсутствие недеklarированных включений, коррекций и возможностей управления и считывания информации, признаков контрафактного происхождения.

Предполагается обсудить сложившуюся проблемную ситуацию, понятие и критерии в области обеспечения и контроля доверенности ЭКБ и РЭА. В широкой аудитории представителей отечественных разработчиков, изготовителей, поставщиков и потребителей комплектующих изделий с участием руководителей дизайн-центров, предприятий, научно-исследовательских организаций, государственных корпораций и регуляторов в области обеспечения безопасности объектов критической информационной инфраструктуры, к которым относится весь радиоэлектронный комплекс и большинство объектов связи, навигации, цифровой маркировки, транспорта, автоматизированных систем управления производством, коммунальным хозяйством и пр. Причём, как ожидается, основной акцент в докладах будет сделан на обеспечение создания и комплектования отечественных гражданских систем, для которых ранее в основном применялись материалы и комплектующие изделия иностранного производства.

К участию в пленарном заседании с докладами в качестве экспертов приглашены руководители и профильные специалисты Федеральной службы по экспортному контролю, Минпромторга и Минцифры России, госкорпораций «Росатом», «Роскосмос» и «Ростех», АО «РЖД», предприятий-разработчиков радиоэлектронных комплексов и систем.

Пленарное заседание «Доверенность ЭКБ и РЭА – тема для спекуляций или объективный вызов?» запланировано на 4 октября 2022 года с 15:00 по 18:30.

Продолжая традицию прошлого года, секция 10 «Искусственный интеллект. Нейроморфные системы» организует пленарную

сессию на тему «Искусственный и гибридный интеллект: ЭКБ на новых принципах, алгоритмы, модели и технологии» из 11 докладов.

Рассматривается видение перспективных систем ИИ и технологий их разработки, а также интеллектуальные нейроморфные и нейрогибридные системы с применением ЭКБ на новых принципах. Оцениваются перспективы создания такой ЭКБ для матриц энергонезависимой памяти терабитного масштаба и нейроморфных систем.

Представляется научная программа искусственного интеллекта и больших данных в технических, промышленных, природных и социальных системах, реализуемая вновь созданным Национальным центром физики и математики (НЦФМ) в Нижегородской области. Формулируются проблемы надёжности и объяснимости получаемых решений с помощью нейросетей, обсуждаются пути их решения.

Кроме того, будут освещены аспекты вычислительного превосходства нейроморфного компьютера, а также оригинальные математические алгоритмы и модели реализации такого компьютера на базе энергонезависимой памяти. Обсуждаются вопросы взаимодействия живых нейронов мозга с микроэлектронными устройствами, а также программно-аппаратная реализация ИИ в социкиберфизических и робототехнических системах.

В работе секции 10 представлены доклады по следующим направлениям: аппаратная реализация ИИ с помощью серийно выпускаемых нейроускорителей; электронные и фоточувствительные мемристоры, а также устройства и системы на их основе; анализ и синтез нейроморфных систем.

Модератором серии пленарных докладов выступит к.т.н. Тельминов Олег Александрович (АО «НИИМЭ»).

Российский форум «Микроэлектроника 2022» в МКК «Роза Хутор» (г. Сочи) будет проходить с 2 по 8 октября.



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

ОТВЕТСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

2022

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 и технологические консультации
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Комплектование производства отечественными и импортными компонентами и материалами
- Поддержание складских запасов РЭК и материалов, контролирование жизненного цикла комплектующих
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания изделий
- Гарантийный и постгарантийный сервис

Создание адаптивной системы управления шаговым двигателем

Александр Петрушин (alex.petrushin.96@mail.ru)

В данной статье описывается создание адаптивной системы управления шаговым двигателем для лазерного станка с ЧПУ. Рассмотрены модель в виде готового блока «Stepper Motor with Control» в пакете Matlab Simulink; модель шагового двигателя на основе системы дифференциальных уравнений и модель на основе формулы определения текущей скорости ШД. Создана адаптивная модель управления шаговым двигателем для лазерного станка ЧПУ с пирометром.

Введение

В станках с числовым программным управлением, 3D-принтерах, роботах и прочих системах автоматизации широко используется электропривод на базе шаговых двигателей. Их широкое применение, прежде всего в системах позиционного электропривода роботов, обусловлено отличительными особенностями самого шагового двигателя (ШД) как электромеханического преобразователя энергии, такими как возможность отработки малых дискретных перемещений, отсутствие коллекторно-щёточного узла, а также развитием элементной базы и возможностями современных микропроцессорных систем программного управления.

Описание шагового двигателя

Шаговый электродвигатель (ШД) — это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги)

ротора [2]. Конструктивно шаговые электродвигатели состоят из статора, на котором расположены обмотки возбуждения, и ротора, выполненного из магнитомягкого или из магнитотвёрдого материала. Шаговые двигатели с магнитным ротором позволяют получать большой крутящий момент и обеспечивают фиксацию ротора при обесточенных обмотках (рис. 1).

Таким образом, выделяют следующие разновидности ШД по конструкции ротора:

- с постоянными магнитами (ротор из магнитотвёрдого материала);
- реактивный (ротор из магнитомягкого материала);
- гибридный.

Гибридные двигатели (рис. 2) сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами.

Адаптивная система управления шаговым двигателем

Создана адаптивная система управления шаговым двигателем (рис. 3), состоящая из следующих элементов: сам

шаговый двигатель, драйвер для управления шаговым двигателем, программно-логический контроллер, на который программируется алгоритм действий шагового двигателя. От ПЛК идёт преобразователь от RS-485 до RS-232, где подключается пирометр к разъёму RS-232, также от ПЛК идёт подключение к панели НМИ, где регулируется работа с шаговым двигателем, и ПК, который имеет возможность запрограммировать шаговый двигатель.

Компьютерная модель в Matlab

Система управления шаговым двигателем была собрана по принципу реального управления в шаговом режиме с программной обратной связью. Из библиотеки программы была взята готовая модель биполярного шагового двигателя. На рис. 4 представлена схема в общем виде.

Эта модель показывает, как использовать драйвер шагового двигателя и блоки шагового двигателя вместе для реализации управляемого шагового двигателя с постоянным магнитом. Модель предоставляет два варианта контроллера: один для управления положением и один для управления скоростью. Чтобы изменить тип контроллера, щёлкните правой кнопкой мыши на блоке контроллера, выберите Вариант → Переопределить с помощью → и выберите Положение или Скорость.

Шаговый двигатель имеет полный размер шага 1,8 градуса. В модели позиционного управления входным значением Ref является желаемое количество шагов. В режиме управления скоростью входным значением Ref является желаемое количество шагов в секунду.

Эта модель представляет собой модель системного уровня, подходящую для изучения динамики шагового двигателя и того, будет ли угол шага скользить при движении заданной нагрузки. Его также можно использовать для настройки шагового контроллера для улучшения производительности шага. Часто контроллер частично или полностью реализован на готовом модуле шагового контроллера.

Альтернатива реализации алгоритма на микропроцессоре (например,

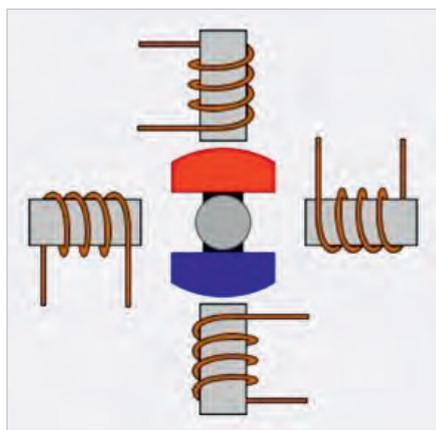


Рис. 1. Пример четырёхобмоточного ШД

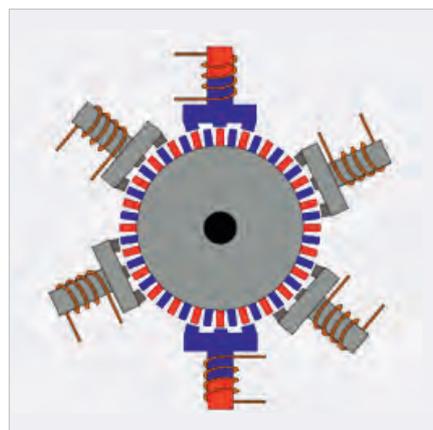


Рис. 2. Пример гибридного двигателя

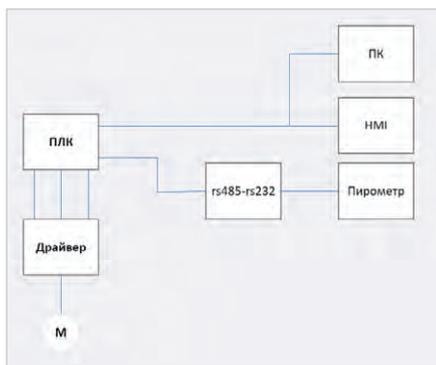


Рис. 3. Структурная схема адаптивной системы

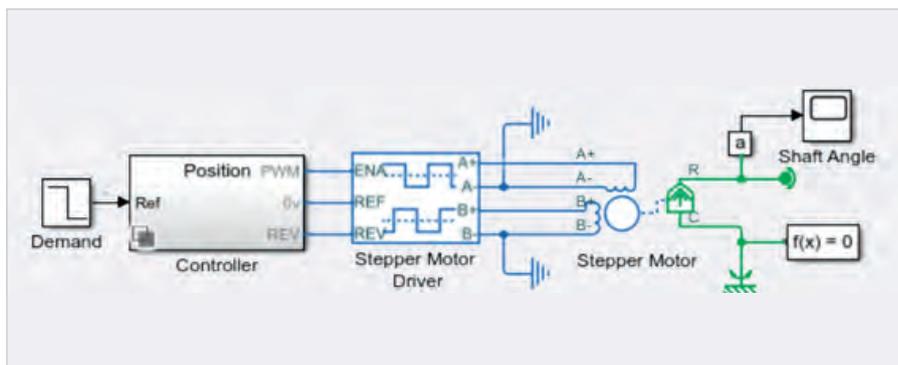


Рис. 4. Структурная схема лазерного комплекса

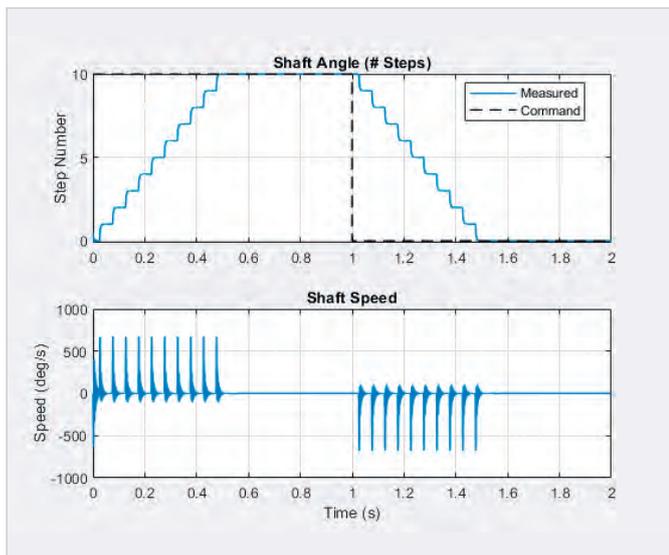


Рис. 5. Графики контроля положения

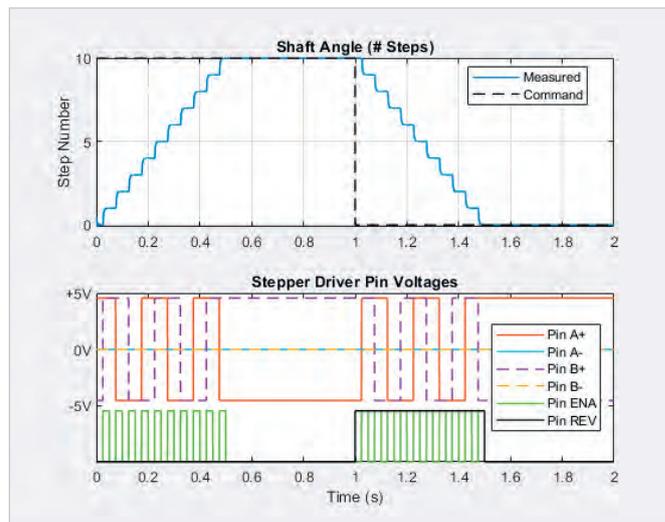


Рис. 6. График состояния выводов шагового драйвера, которые влияют на движение шагового двигателя

PLC) даёт большую гибкость, и микропроцессор также может использоваться для управления другими частями общей системы. В этом случае части блока драйвера шагового двигателя также могут быть реализованы на микропроцессоре, оставляя только каскад усилителя мощности в аналоговой электронике.

Тест контроля положения вала шагового двигателя представлен на рис. 5.

На графике рассматривается угол вала двигателя по сравнению с сигналом спроса. Алгоритм управления положением принимает команду положения в виде нескольких шагов и преобразует её в последовательность импульсов, которая управляет драйвером шагового двигателя. Шипы на графике угловой скорости происходят, когда вал оседает в своё командное положение.

На графике показано, как драйвер инициирует шаг каждый раз, когда сигнал ENA поднимается выше порогового напряжения включения.

Заключение

Таким образом, каждый вариант моделирования шаговых двигателей

имеет как свои достоинства, так и свои недостатки. Выбор зависит от конкретных задач, предъявляемых к моделям. Так, если человеку необходима наглядная демонстрация результатов моделирования, стоит прибегнуть к методу моделирования на основе готовых блоков в пакете Matlab Simulink. Если имеется необходимость описать процессы, протекающие в электрическом двигателе, стоит провести моделирование системы дифференциальных уравнений путём составления линейной модели, это позволит смоделировать определённые процессы в ШД с помощью математических операций. Положительным моментом моделирования ШД на основе формулы определения текущей скорости ШД является быстрое время вычисления математических операций пакетом Matlab Simulink вследствие небольшого количества операций.

Литература

1. Рентюк В. Шаговые двигатели и особенности их применения // Компоненты и технологии. 2013. № 10 (147). С. 71–78.

2. Kim W., Yang C., Chung C. Design and implementation of simple field-oriented control for permanent magnet stepper motors without DQ transformation, IEEE Trans. Magnet., 2011. Vol. 47, No. 10, pp. 4231–4234.
3. Mohamed S. Zaky, Ehab M. Ismaeil, Mahmoud M. Khater. Gain Scheduling Adaptive Proportional-integral Controller for a Field-oriented Control of Hybrid Stepper Motor Drives. Electric Power Components and Systems, 2012 Taylor & Francis Group, LLC 40, pp. 777–791.
4. Томчина О.П., Горлатов Д.В., Томчин Д.А., Свенцицкая Т.А. Алгоритм адаптивного управления механическими системами с неявной эталонной моделью и фильтрацией // Информатика и системы управления. 2018. № 3 (57). С. 124–130.
5. McClelland W. (1927). The Application of Electricity in Warships. JIEE 65, 829–71. (Related part: pp. 850–2.)
6. Кенно Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. М.: Энергоатомиздат, 1987. 189 с.
7. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие. М.: Форум, 2012. 224 с.

Барометр-гигрометр-термометр с батарейным питанием на базе MEMS-датчика BME280, микроконтроллера EFM8SB10F8 и ЖКИ-модуля H1313.

Часть 1

Алексей Кузьминов (г. Москва)

В статье приведены принципиальная схема, разводка плат и конструкция барометра-гигрометра-термометра на базе MEMS-датчика BME280 (компании Bosch Sensortec), нового микропотребляющего 51-совместимого микроконтроллера (МК) EFM8SB10F8 (Silicon Laboratories) и ЖКИ-модуля H1313 на базе контроллера HT1616 (Holtek). Для питания устройства могут быть использованы либо две мизинчиковые литиевые батарейки FR03 по 1,5 В, либо литиевая батарейка CR2477 (таблетка) с напряжением 3 В. Ёмкости батареек (около 1 А·ч) достаточно для работы прибора как минимум 10 лет при обновлении показаний атмосферного давления, влажности и температуры раз в 5 минут.

Введение

Барометры-гигрометры-термометры на базе BME280 широко распространены. Однако все они либо требуют отдельного сетевого источника питания, либо достаточно ёмких аккумуляторов, нуждающихся в частой перезарядке. Изредка можно найти в Интернете подобные устройства с питанием от батареек, однако срок их работы недолог, и батарейки часто требуется менять. Такое положение вещей объясняется тем, что все эти устройства для своей работы потребляют значительную энергию, понизить которую не позволяют три причины.

Во-первых, в большинстве случаев в таких устройствах используют широко распространённые 32-разрядные МК (в платах типа Arduino, Raspberry Pi и т.п.), STM32 и им подобные, потребляющие значительный ток (десятки мА). Изредка можно встретить 8-разрядные МК с небольшим энергопотреблением, использующиеся для подобных целей, однако и они даже в режиме сна потребляют ток до нескольких мкА.

Во-вторых, хотя BME280 позволяет производить обмен данными с МК по двум интерфейсам SPI и I²C, в 99% случаев связь МК с BME280 производится по низкоскоростному двухпроводному интерфейсу I²C, требующему наличия достаточно низкоомных нагрузочных резисторов, подключённых к питанию, которые потребляют значительный ток (до единиц мА). Низкая скорость I²C определяется, физическими свой-

ствами этого интерфейса, – достаточно сложным протоколом обмена данными BME280 с МК, который тратит на такой обмен много времени (и программной памяти). I²C целесообразно использовать, когда к МК подключены несколько устройств на одну и ту же 2-проводную шину, но если подключено всего одно устройство (например, BME280), то использование этого интерфейса становится бессмысленным (если не сказать безграмотным). В отличие от I²C интерфейс SPI не требует никаких резисторов для своего функционирования: связь МК и BME280 осуществляется напрямую. Кроме того, SPI имеет на порядок бóльшую скорость обмена (до 10 Мбод у МК EFM8SB10F8 и BME280) благодаря своей физической реализации и примитивному протоколу обмена, из-за чего обмен информацией МК и BME280 занимает очень короткое время. А чем меньше это время, тем меньше работают МК и BME280 в активном режиме, потребляя ток до единиц мА, в отличие от режима сна (sleep-режим), в котором МК и BME280 потребляют десятые доли мкА (EFM8SB10F8 – 0,5 мкА, BMP280 – 0,1 мкА). Поэтому если такой обмен информацией идёт, например, раз в 5 минут (за такое время давление, температура и влажность вряд ли существенно изменятся), а всё остальное время чип находится в состоянии сна, то общее потребление энергии подобного устройства существенно снижается.

В-третьих, устройства, связанные с высоким потреблением тока, – это средства отображения измерительной информации. В подавляющем большинстве устройств, использующих BME280, в качестве таких средств применяются светодиодные индикаторы, потребляющие до десятков, а то и сотен мА. Реже используются матричные OLED-дисплеи (20–50 мА). Иногда можно найти устройства, где используются матричные ЖК-дисплеи, потребляющие ток до нескольких мА. В то же время имеются семисегментные ЖКИ, потребление тока которых составляет всего несколько мкА (максимум до 20 мкА), но устройства на базе МК и BME280 с такими ЖКИ встречаются крайне редко, и они, как правило, используют МК с достаточно высоким потреблением тока.

Здесь необходимо добавить, что в последнее время в широкой продаже появились дисплеи, которые получили название «электронная бумага» – E-paper или «электронные чернила» – E-ink. Это матричные дисплеи с разрешением 158×158 или 200×200 пикселей (наиболее дешёвые и востребованные варианты). Потребление тока у них существенно выше (до нескольких мА), чем у ЖКИ, но только во время обмена информацией с МК. Зато когда обмена нет, эти дисплеи вообще ничего не потребляют, т.е. они сохраняют информацию на экране даже при выключении питания и причем достаточно долгое время (до нескольких месяцев и более). Кроме того, некоторые из таких дисплеев имеют возможность обновлять информацию не всего экрана, а только определённой его области, что существенно снижает их энергопотребление. Применительно к BME280 это означает, что можно, например, вывести в определённую область экрана слова «Давление», «Влажность», «Температура» один раз, а обновлять только цифровые значения этих физических величин в другой области экрана. Матричное строение таких дисплеев, конечно, требует большего объёма

как программной, так и оперативной памяти по сравнению с примитивным обменом с ЖКИ, и «потянет» ли МК EFM8SB10F8 с программной памятью всего 8 кБ и оперативной 128 байт (data) плюс 512 байт «внешней» (xdata) подобный обмен, ещё неизвестно (по подсчётам автора, скорее всего, да). Если нет, можно использовать похожий МК EFM8SB20F16 (16 кБ программной памяти и 4 кБ xdata), который по стоимости не отличается от EFM8SB10F8 (и даже немного дешевле).

Таким образом, резюмируя вышесказанное, можно отметить, что имеются три проблемы, не позволяющие использовать VME280 в устройствах на базе МК с батарейным питанием и достаточно долгим сроком эксплуатации. В настоящей статье приведено устройство, где все эти три проблемы сняты.

Дальнейшее изложение построено следующим образом. Вначале приводится принципиальная схема устройства, далее кратко описаны его программные средства, затем показана разводка и внешний вид его платы, после этого рассказано о конструкции устройства (фотографии в открытом корпусе и общий вид работающего устройства) и о результатах его работы.

Принципиальная схема устройства

Как видно из рис. 1, схема устройства достаточно проста. В качестве МК используется DD1 (EFM8SB10F8G-A-QFN20) в корпусе QFN20 размером 3×3 мм. Потребление тока МК в sleep-режиме составляет 0,5 мкА (SB в названии МК – сокращение от Sleepy Bee). В качестве датчика давления, влажности и температуры используется готовый модуль, в состав которого входит собственно микросхема VME280, несколько резисторов и конденсаторов. Стоимость такого модуля, как ни странно, существенно ниже стоимости самой микросхемы VME280, поэтому он и использован в приборе. Кроме того, вместо модуля на VME280 можно использовать модуль на основе BMP280, который измеряет только давление и температуру (он почти на порядок дешевле модуля с VME280). Модуль с VME280 сопрягается с МК по 4-проводному (для VME280) интерфейсу SPI сигналами MISO, MOSI, SCK и CSB. Последний сигнал используется в качестве выбора кристалла (Chip Select – CS). Для МК это 3-проводный SPI (без использования сигнала NSS, выставляемого авто-

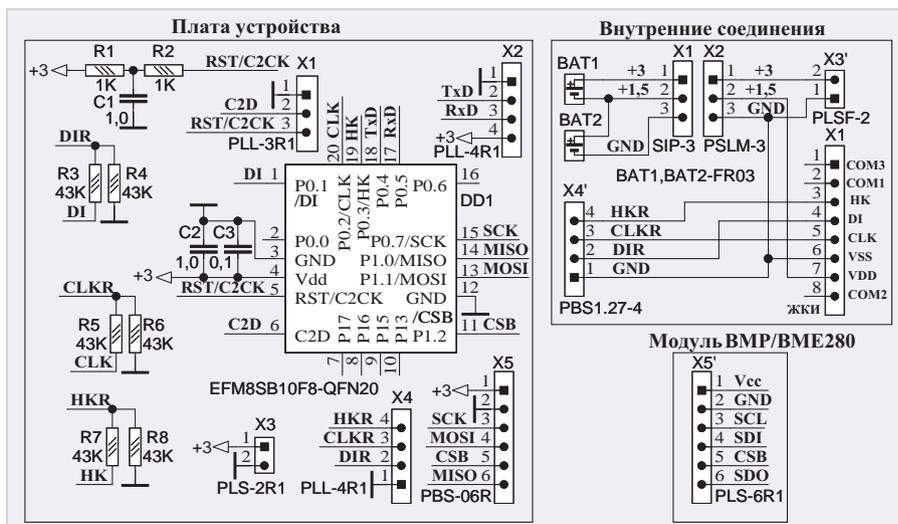


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

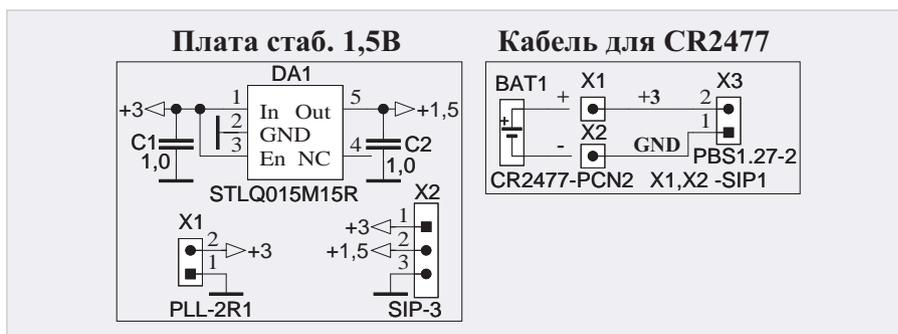


Рис. 2. Схема подключения батарейки CR2477

матически в 4-проводном режиме после передачи/приёма каждого байта). Сигнал CSB устанавливается в программе «вручную» тогда, когда это требуется (в начале и в конце обмена при передаче или приёме байта или массива байт). Здесь необходимо добавить, что, для того чтобы снизить ток потребления модулей VME280/BMP280 до уровня потребления тока самих микросхем VME280/BMP280, рекомендуется выпаять из этих модулей все 4 резистора номиналом 10 кОм, подключённых к линиям интерфейса (входным сигналам SCL, SDA, CSB и выходному сигналу SDO). Дело в том, что входные сигналы для VME280 одновременно являются выходными для МК (SCK, MOSI и CSB соответственно), которые настроены как цифровые (пушпульные – push-pull) выходы и в этих резисторах не нуждаются, а выходной сигнал VME280 (SDO) является входным для МК (MISO), настроенным как цифровой вход со слаботоковой подтяжкой к питанию (с эквивалентным сопротивлением около 500 кОм), в связи с чем также не нуждается в дополнительном резисторе.

ЖКИ-модуль H1313 на базе контроллера HT1611/HT1613 (далее ЖКИ)

потребляет ток всего 3 мкА (типичное значение), поскольку его напряжение питания 1,5 В, что в 2 раза меньше напряжений питания МК и VME280 (3 В). В связи с этим имеются две проблемы для использования этого ЖКИ в приборе. Во-первых, источник питания должен обеспечить два напряжения питания (1,5 В и 3 В), во-вторых, поскольку цифровые сигналы МК имеют амплитуду около 3 В, а сигналы управления ЖКИ – в 2 раза меньше, требуется их согласование по амплитуде. Первая проблема может быть решена двумя способами: либо использовать 2 батарейки с напряжением по 1,5 В каждая, включённые последовательно (BAT1 и BAT2 – литиевые FR03 – в пунктирном прямоугольнике в верхней правой части рис. 1), либо применить 3-вольтовую батарейку (например, литиевую CR2477) и стабилизатор с выходным напряжением 1,5 В STLQ015M15R (DA1, рис. 2), потребляющий ток не более 1 мкА. Применение литиевых батареек объясняется тем, что, во-первых, такие батарейки могут служить до 10 лет и разряжаются не более чем на 1% в год, во-вторых, их кривая разряда (зависимость выходного напряжения от времени и тока раз-

ряда) практически горизонтальная, в отличие от щелочных, напряжение которых падает в зависимости от времени (и тока разряда), и тем более щелочных, у которых кривая разряда падает ещё существенней. Кроме того, срок службы щелочных батареек – всего 2-3 года, а щелочных и того меньше. Для согласования амплитуд сигналов МК и ЖКИ используются делители напряжения (в 2 раза), построенные на резисторах R3–R8. Для передачи данных в ЖКИ используется сигнал DI, который строится импульсами CLK. ЖКИ может работать в двух режимах: режим отображения времени (часы, минуты и секунды) и режим отображения информации, переданной МК с помощью сигналов DI и CLK. Переключение режимов работы ЖКИ осуществляется сигналом HK. При низком уровне HK (лог. 0) ЖКИ отображает информацию, переданную сигналами DI и CLK (этот режим используется в приборе), при высоком (лог. 1) – часы (этот режим при необходимости может быть также использован: схема это позволяет).

Напряжение (3 В) на плату поступает с 2-штырькового разъёма PLS-2R1 (X3), к которому подключается 2-контактное ответное гнездо PLSF-2 (X3' – в правом верхнем пунктирном прямоугольнике рис. 1). ЖКИ подключается к 4-штырьковому разъёму PLL-4R1 (X4) ответным гнездом PBS1.27-4 (X4' в правом верхнем пунктирном прямоугольнике). Модуль ВМЕ280 подключается к 6-контактному гнезду PBS-06R (X5) с помощью 6-контактного штыревого разъёма PLS-6R1, установленного на этом модуле (X5' – в правом нижнем пунктирном прямоугольнике рис. 1).

Программироваться МК может двумя способами:

- 1-й вариант – с помощью USB DEBUG адаптера, который сопрягается с компьютером по интерфейсу USB, а с МК – по 2-проводному интерфейсу C2. Для этого предназначен 3-контактный штыревой разъём PLL-3R1 (X1), на который выведены 2 сигнала: RST/C2CK, C2D и «земля». Для сопряжения используется кабель, который одним концом (ответное 3-контактное гнездо) подключается к разъёму X1, а второй его конец подключается к выходному разъёму USB DEBUG адаптера. Схему такого кабеля можно найти в [1]. Цепочка R1R2C1 используется для штатной работы интерфейса C2 и штатной работы МК при включении питания (Power On Reset – POR);

- 2-й вариант – по интерфейсу RS-232 с помощью COM-порта компьютера (COM1). Для сопряжения используется 4-контактный штыревой разъём PLL4-R1 (X2), на который выведены 2 сигнала (TxD, RxD), питание (+3 В) и «земля». К этому разъёму подключается преобразователь уровней интерфейса RS-232-TTL, а к нему – кабель сопряжения с COM-портом компьютера. Все схемы и подробное описание этого режима программирования можно найти в [2]. Для перевода МК в этот режим программирования необходимо замкнуть переключкой (джампером) контакты 1–2 разъёма X1.

Конденсаторы C2 и C3 – блокировочные; они предназначены для штатной работы МК. Все резисторы и конденсаторы (керамические, рассчитанные на пробивное напряжение не менее 10 В) – для поверхностного монтажа размером 0603. Как видно из вышеизложенного, схема не отличается особой сложностью, а потому плата устройства легко разводится и имеет габариты всего 16×18 мм.

Программные средства

Программа для ВМЕ280 в уже готовом загрузочном *.hex-формате – EFM8SB-10F8G-A-QFN24.hex (EFM8SB10F8G-A-QFN24_2.hex – для ВМР280) приведена в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Её можно запрограммировать в МК с помощью одного из двух способов программирования, о которых говорилось выше. В принципе, на этом можно было бы и закончить раздел статьи о программных средствах, однако автор счёл своим долгом поделиться некоторыми ключевыми моментами программы и «багами», обнаруженными автором, с теми, кто имеет желание, возможность и навыки программирования и захочет самостоятельно написать свою программу. Дальнейшее изложение предполагает, что информация о МК EFM8SB10F8G_A_QFN20 (справочный листок – datasheet и руководство пользователя – Reference Manual) и о ВМР280 (справочный листок – datasheet) уже известны (если нет, их можно легко найти в Интернете и ознакомиться с ними). Кроме того, предполагается, что информация о среде программирования Simplisity Studio v.4 (Silicon Laboratories) также известна.

Но вначале о сути самой программы. Она может быть условно разделена на две части. Это основная программа и программа инициализации устройств (InitDevice.c). Об инициа-

лизации устройств речь пойдет далее, а здесь кратко остановимся на основной программе. Но прежде несколько слов о ВМЕ280.

Эта микросхема разработана по MEMS-технологии, включает в свой состав 20-разрядный АЦП, имеющий возможность производить передискретизацию и осреднение результатов. Для снижения шума АЦП ВМЕ280 оборудована специальным фильтром, который можно включать и выключать, если в нём нет необходимости. У неё 3 режима работы: режим сна (sleep-mode), в котором измерения не производятся и потребление тока минимально, нормальный (normal-mode), когда производятся измерения через определённый и задаваемый интервал времени (от 0,5 до 1000 мс), причем, когда измерения не производятся, ВМЕ280 автоматически переходит в sleep-режим, и, наконец, режим принудительного (форсированного) измерения (force-mode); в этом режиме измерения производятся тогда, когда это требуется, и при этом после проведения измерений микросхема также автоматически переходит в sleep-режим. Этот режим (force-mode) и использован в приборе. Для повышения точности измерений в ВМЕ280 имеются калибровочные коэффициенты (3 – для температуры, 9 – для давления и 6 – для влажности), которые настраиваются на заводе-изготовителе и записываются в постоянную память. Эти коэффициенты доступны только для чтения. Кроме того, у микросхемы имеется идентификационный номер (60h – у ВМЕ280 и 58h – у ВМР280), который также доступен для чтения. После окончания измерений расчёт давления, температуры и влажности производится по определённым формулам, в которые входят измеренные АЦП значения этих физических величин, с учётом калибровочных коэффициентов. Эти формулы приведены в справочном листке (datasheet). Для обмена информацией с МК, как уже упоминалось, микросхема оснащена двумя интерфейсами: I²C и SPI. Максимальная скорость обмена по SPI составляет 10 Мбод (точнее, максимальная частота сигнала, стробирующего данные (SCK), составляет 10 МГц).

Теперь более подробно рассмотрим работу программы. Вначале производится чтение идентификационного номера (ID) ВМЕ280 и вывод его на экран ЖКИ, на котором ID отражается в течение около 2 секунд. Если он равен «60»,

то это означает, что всё в порядке, что микросхема именно VME280, и что её связь с МК по SPI работает верно. Далее читаются и запоминаются в оперативной памяти МК (data) калибровочные коэффициенты. После этого происходит инициализация VME280, т.е. в неё загружается требуемый режим работы (в начале – normal-mode), количество осреднений (sampling) по каждому из измерений (давления – P, температуры – T и влажности – H), фильтр выключается, а время работы в нормальном режиме (standby_time) устанавливается на максимум (1 секунду). Далее включается режим force-mode, и на этом инициализация заканчивается. В этом месте программы устанавливается метка “start”, на которую программа возвращается после всех измерений, индикации показаний на ЖКИ и окончания режима сна МК (sleep-mode), т.е. примерно через каждые 5 минут. Значения АЦП, отражающие значения измеренных величин, считываются подряд, по 3 байта для P, T и H (т.е. всего 9 байт, при этом старший байт H не используется), начиная со старшего байта (Most Significant Byte – MSB) P, т.е. с адреса 0xf7 (VME280_REG_PRESS_MSB). После этого производится расчёт T, P и H именно в такой последовательности, поскольку значение T используется для расчёта P и H. Далее рассчитанные значения P, H и T выводятся на ЖКИ, и МК переводится в режим сна (sleep-режим), выход из которого осуществляется по тревожному сигналу (alarm) от специального таймера (Real Time Clock – RTC). Это событие, как уже указывалось, происходит каждые 5 минут. После этого программа возвращается на метку “start”, о которой говорилось выше, т.е. всё повторяется в бесконечном цикле. Вот и вся суть программы.

Здесь необходимо добавить, что после входа в sleep-режим все устройства МК, включая его процессор, отключены, кроме специального устройства управления потреблением энергии (Power Monitor Unit – PMU) и специального таймера (Real Time Clock – RTC) со встроенным в него микропотребляющим НЧ генератором (LFOSC0), работающим на частоте 16,4 кГц, поэтому МК в sleep-режиме и потребляет ток 0,5 мкА.

Один из ключевых моментов программы – вход МК в режим сна (sleep-режим) и выход из него. Ниже этот момент программы рассмотрен более подробно.

Для переключения МК в sleep-режим в PMU предусмотрен специальный бит, который можно изменять программно.

Но поскольку процессор в sleep-режиме выключен, он не может выполнять никакие команды (инструкции) программы. Поэтому выход из sleep-режима организуется аппаратно по нескольким причинам, а точнее, событиям.

Одной из причин (или событий) выхода из sleep-режима является событие достижения счётчика в RTC своего максимального значения (в программе используется именно оно). Это значение (эквивалентное времени около 5 минут) записывается в RTC ещё на этапе инициализации устройств МК (см. далее). RTC, досчитав до этого максимума, автоматически сбрасывается (авторесет) и начинает счёт сначала. При этом RTC генерирует специальный «тревожный» сигнал (alarm). Это событие (alarm от RTC – источник выхода из sleep-режима) кодируется в регистре PMU0CF (PMU) специальным битом. Кроме того, при наступлении этого события в регистре PMU0CF автоматически устанавливается специальный флаг, для которого предусмотрен свой бит. При выходе из sleep-режима этот флаг необходимо сбросить программно. В активном режиме системная тактовая частота работы процессора МК (SYSCLK) устанавливается равной частоте специального малопотребляющего ВЧ генератора LPOSC0 (20 МГц). Это происходит ещё на этапе инициализации устройств (см. далее).

Теперь, после этих предварительных замечаний, несложно уже понять рекомендуемую производителем МК EFМ8SB10 последовательность входа/выхода в/из sleep-режима. Как следует из справочного руководства (Reference Manual – RM), она состоит в следующем.

1. Вначале необходимо отключить все аналоговые периферийные устройства (АЦП, компараторы и т.п.). Но поскольку в данном случае они не используются, их можно отключить ещё на этапе инициализации устройств (см. далее), поэтому этот пункт выполнять не требуется. А вот интерфейс SPI, скорость работы которого определяется системной тактовой частотой (SYSCLK), а она, в свою очередь, определяется частотой работы маломощного генератора LPOSC0 (20 МГц), следует отключить, поскольку следующим пунктом будет отключение генератора LPOSC0 и переключение SYSCLK на частоту работы RTC, а она, в свою очередь, определяется частотой работы микромощного низкочастотного генератора LFOSC0 (16,4 кГц). Поэтому, во избежание неа-

декватной работы SPI при смене частот SYSCLK, и требуется отключение SPI.

2. Переключить SYSCLK на работу от RTC (16,4 кГц).

3. Войти в sleep-режим, установив в регистре PMU0CF SLEEP-бит и бит выхода из sleep-режима по alarm'у от RTC. Здесь следует добавить, что никакие логические операции (логического умножения “&” или логического сложения “|”) с регистром PMU0CF не допускаются, или, другими словами, в PMU0CF должно быть записано строго определённое число.

4. Выйти из sleep-режима, предварительно выполнив 4 команды NOP (No Operation – нет операции, т.е. пустая команда), чтобы обеспечить повторную синхронизацию НЧ-генератора LFOSC0 с процессором. После этого переключить SYSCLK на работу от маломощного ВЧ-генератора LPOSC0 (20 МГц) и дождаться установки бита адекватной работы SYSCLK.

Здесь следует добавить, что после того как произойдёт событие, по которому осуществляется выход из sleep-режима, в данном случае – по alarm'у от RTC, в PMU автоматически установится бит (флаг) этого события. Поэтому для повторного входа в sleep-режим (через время, определяемое RTC, в данном случае – 5 минут) этот флаг необходимо сбросить программно. Для этого в регистр PMU (PMU0CF) необходимо также записать определённое число, обнуляющее этот флаг и бит переключения в sleep-режим, а также сохраняющее бит выхода из sleep-режима по alarm'у от RTC. В конце выхода из sleep-режима необходимо включить SPI.

Несмотря на такое «пространное» объяснение, по фрагменту основной программы (на C51), связанному с входом и выходом в/из sleep-режима, приведённому ниже, можно убедиться, что это достаточно простая процедура. Здесь необходимо разъяснить, что после входа в sleep-режим (т.е. после выполнения команды PMU0CF=0x84;) сразу следуют 4 пустые команды (nop();), и на первый взгляд кажется, что выполнение этих команд начинается сразу же после выполнения предыдущей команды (по крайней мере, так написано в программе). Однако, поскольку в sleep-режиме процессор МК остановлен, а эти команды (инструкции) выполняются именно им, то они не будут выполняться до тех пор, пока не произойдёт событие выхода из sleep-режима, а этот выход, в свою очередь, наступит только тогда, когда поступит тревожный сигнал (alarm) от RTC, счёт-

чик которого досчитает до максимального значения и обнулится по авторесету, т.е. через 5 минут. Сами же эти 4 NOP'a требуются для синхронизации «проснувшегося» процессора с тактовой частотой НЧ-генератора LFOSC0 (16,4 кГц), встроенного в RTC.

Фрагмент основной программы с некоторыми комментариями, связанный с входом/выходом в/из sleep-режима, приведён ниже.

```
//-----
// Вход в sleep-режим
//-----
SPI0CN0 &= 0xfe; // Запрет SPI.
CLKSEL=0x83; // SYSClk = частота
работы RTC (LFOSC0 - 16 кГц).
пор_ ();
пор_ ();
пор_ ();
пор_ ();
PMU0CF=0x84; // Установка
бита sleep-режима и бита
// выхода из
него по alarm'у от RTC (5 минут).
//-----
// Выход из sleep-режима
//-----
пор_ ();
пор_ ();
пор_ ();
пор_ ();
CLKSEL=0x04; // SYSClk = LPOSC (20 МГц).
DEL10MS(); // Задержка 10 мс.
while ((CLKSEL & 0x80)==0); // Ожи-
дание установки SYSClk = LPOSC.
PMU0CF=0x24; // Сброс бита sleep-
режима, флага от предыдущего входа
// в него и сохранение бита
разрешения выхода
// из sleep-режима по alarm'у
от RTC.
SPI0CN0 |= 0x01; // Разрешение SPI.
//-----
```

При программировании чтения по SPI из BME280 автор обнаружил один неприятный «баг». Он состоит в том, что при чтении идентификационного номера (ID) и калибровочных коэффициентов используется стандартная процедура чтения по SPI, а при чтении показаний АЦП эта процедура даёт неадекватные значения. Для объяснения этого эффекта и снятия этого бага сделаем некоторое отступление по поводу стандартных протоколов чтения и записи по SPI.

Для того чтобы вывести байт по SPI, требуется записать его в регистр SPI0DAT, дождаться установки бита (флага) окончания передачи (SPI0CN0_

SPIF) и сбросить этот бит. Эта стандартная процедура (подпрограмма записи по SPI) приведена ниже.

```
void outspi(uint8_t byte) {
SPI0DAT = byte; // Вывод байта по SPI
while (!SPI0CN0_SPIF); // Ожидание
окончания вывода байта
SPI0CN0_SPIF = 0; // Сброс флага
окончания передачи.
}
```

При чтении байта по SPI требуется записать в SPI0DAT ничего не значащий фиктивный (подставной – dummy) байт (например, 0xff), дождаться установки флага SPI0CN0_SPIF и сбросить его. Результат чтения будет в регистре SPI0DAT. Подпрограмма чтения по SPI приведена ниже.

```
uint8_t inspi() {
uint8_t byte;
SPI0DAT = 0xff; // Вывод
фиктивного байта.
while (!SPI0CN0_SPIF); // Ожидание
окончания ввода байта.
SPI0CN0_SPIF = 0; // Сброс
флага окончания приема.
byte = SPI0DAT; // Ввод
байта в микроконтроллер
return (byte);
}
```

Возвращаясь к прерванной последовательности изложения, следует пояснить, что сама процедура чтения из области памяти BME280 состоит в том, что вначале требуется записать байт адреса, откуда необходимо получить информацию (вышеприведённой подпрограммой записи), а затем – прочитать эту информацию (вышеприведённой подпрограммой чтения). Причем, если требуется прочитать несколько (2 и более) подряд расположенных байт, или, другими словами, массив байт (многократное чтение – multiple byte read), нет необходимости перед чтением каждого байта указывать его адрес. Достаточно записать адрес первого элемента массива и далее просто читать подряд столько раз, сколько элементов в массиве. Другими словами, перед чтением каждого следующего байта происходит автоматическое инкрементирование адреса.

Например, для чтения первого двухбайтного калибровочного коэффициента температуры (в справочном листке он обозначен как dig_T1), расположенного по адресам 0x88 (старший

байт) и 0x89 (младший байт), необходимо вначале записать адрес старшего байта (0x88), а затем произвести двукратное чтение. В этом случае такая процедура чтения работает правильно, и к ней никаких претензий нет.

Иное дело, если требуется прочитать показания АЦП. Эти показания для давления (ADC_P), температуры (ADC_T) и влажности (ADC_H) расположены в памяти BME280 также подряд, начиная с адреса 0xF7 (старший байт показания давления – press_msb). Причем каждое показание АЦП расположено в 3 байтах. Например, показание ADC_P расположено по адресам 0xF7 (старший байт), 0xF8 (средний байт – press_lsb) и 0xF9 (младший байт – press_xlsb). Далее идёт показание ADC_T, а за ним – ADC_H. Таким образом, все три показания занимают 3×3 = 9 байт. Если требуется прочитать подряд все 9 байт, то, применив вышеприведённую процедуру многократного чтения, вначале следует записать в BME280 адрес первого элемента этого массива, т.е. 0xF7, а затем осуществить 9-кратное чтение. Однако в этом случае получится полная белиберда. В чём же здесь дело? Как выяснил автор, при записи адреса 0xF7 вышеприведённой подпрограммой записи байта и последующего чтения байта вышеприведённой подпрограммой чтения будет произведена операция чтения не с адреса 0xF7, а со следующего (0xF8). Другими словами, после записи адреса 0xF7 (см. подпрограмму записи) в регистр SPI0DAT сразу же запишется содержимое 0xF7, а при последующем чтении после записи фиктивного байта (см. подпрограмму чтения) в SPI0DAT запишется содержимое уже следующего байта (0xF8), т.е. после записи адреса происходит его автоматическое инкрементирование, и, таким образом, содержимое регистра с адресом 0xF7 теряется.

Решение этой проблемы, а также разводка печатных плат, корпус устройства и результаты тестирования итогового изделия будут рассмотрены в следующей части статьи.

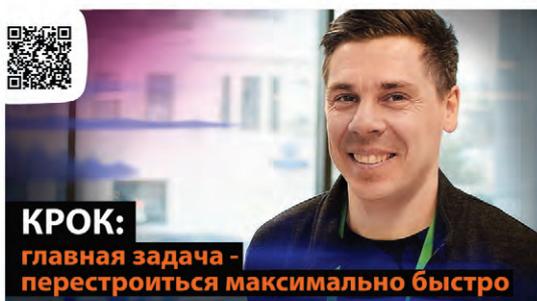
Литература

1. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2018.
2. Кузьминов А. Программирование микроконтроллеров EFMS с помощью встроенного загрузчика программ // Радио. 2018. № 12.

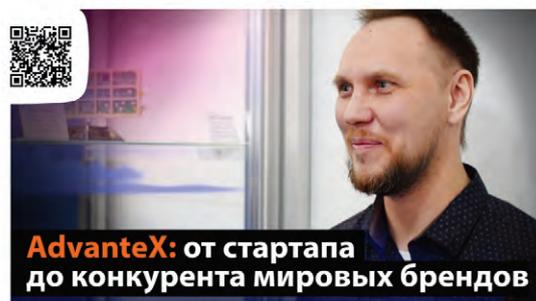




Смотрите на канале СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



КРОК: главная задача –
перестроиться максимально быстро
Валентин Губарев. КРОК



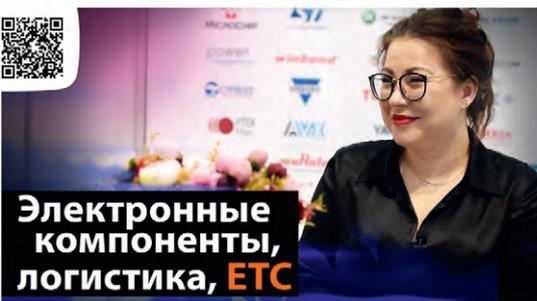
AdvanteX: от стартапа до конкурента
мировых брендов
Андрей Поляков, AdvanteX



IT-инфраструктура под контролем:
новые возможности Астра Линукс
Наталья Царёва и Александр Гришин, ISPSystem



Импортонезависимость: от лозунгов
до реальных дел
Ильдар Вагизов, АйСиЭл Техно



Электронные компоненты, логистика
Катерина Кулаковская, ETC



В России появятся свои IT-гиганты
Станислав Иодковский, IVA Technologies

«Умная теплица» на шести сотках

Сергей Шишкин (svshi1969@mail.ru)

В публикации представлен бюджетный вариант автоматизации теплицы для индивидуального хозяйства на базе программируемого реле ОВЕН ПР200. Автор приводит построение на базе вышеуказанного программируемого реле некоторых локальных систем «умной теплицы».

Термин, или понятие, «умная теплица» подразумевает автоматизированную систему управления (АСУ) инженерным оборудованием, задействованным в самой теплице или на прилегающей территории, которая позволяет осуществлять регулировку микроклимата и может решать следующие задачи:

- автоматическое управление режимами работы инженерных систем в теплице;
- поддержание заданных параметров микроклимата;
- отображение необходимой информации на экране контроллера, монитора или мобильного устройства;
- контроль и диагностика состояния исполнительного оборудования;
- удалённое управление в личном кабинете;
- своевременное оповещение персонала о нештатных ситуациях.

Для контроля и управления тепличным оборудованием может быть задействован диспетчерский пункт со SCADA-системой. Для менее масштабных объектов целесообразнее организовать мониторинг и управление в облачных сервисах, например, OwenCloud, связь с которым обеспечивается через Ethernet или по беспроводной связи стандарта GSM/Wi-Fi.

В теплицах могут быть установлены следующие локальные системы и оборудование:

- система вентиляции – открывание форточек, фрамуг или приточно-вытяжная;
- система отопления – водяное, воздушное или другое;
- система зашторивания – горизонтальное и вертикальное. В общем случае можно выделить 5 видов за-



Рис. 1. Внешний вид ПР200 с подключёнными модулями расширения ПРМ-24.1, ПРМ-24.2

шторивания: энергосберегающее, затеняющее, комбинированное, затемняющее, световозвращающее;

- СИОД – система испарительного охлаждения и увлажнения для снижения температуры воздуха на 5–10°C и создания необходимой влажности в теплице;
- искусственное ассимиляционное освещение для увеличения продолжительности светового дня в теплице;
- система подачи CO₂ для увеличения урожайности до 30% при прочих равных условиях;
- система полива.

Кроме того, каждая система может в себя включать составные части, функциональные блоки и узлы.

Например, система полива может в себя включать:

- растворный узел для смешивания маточных растворов удобрений с водой и подачи в магистраль полива;
- гравийный фильтр для предварительной подготовки воды;
- теплообменник для подогрева воды;
- систему подготовки воды ОСМОС;

- магистраль капельную, оросительную или прилив-отлив;
- накопительные ёмкости для подготовленной воды, сбора грязного и чистого дренажа;
- дезинфектор дренажа – термический или ультрафиолетовый.

Автоматизация теплиц подразумевает под собой управление и отслеживание параметров климата, которые можно регулировать. Автоматизация поддержания микроклимата способствует лучшему росту и повышению урожайности, а также уменьшает затраты на ручной труд.

От слаженной работы локальных систем зависит микроклимат в теплице, а следовательно, и урожай. В сознании обывателя укоренилось, что понятие «умная теплица» применимо только к большим тепличным комплексам или крупным фермерским хозяйствам. Большая часть коммерческих проектов по автоматизации теплиц разрабатывается для тепличных комплексов площадью несколько гектаров, в то время как рынок автоматизации теплиц для фермерских и индивидуальных хозяйств остаётся без внимания. Современные тепличные комплексы строятся многопролётными по типовым проектам, они комплектуются необходимыми инженерными системами поддержания микроклимата: отопления, полива, вентиляции и циркуляции воздуха, водостока, водоснабжения

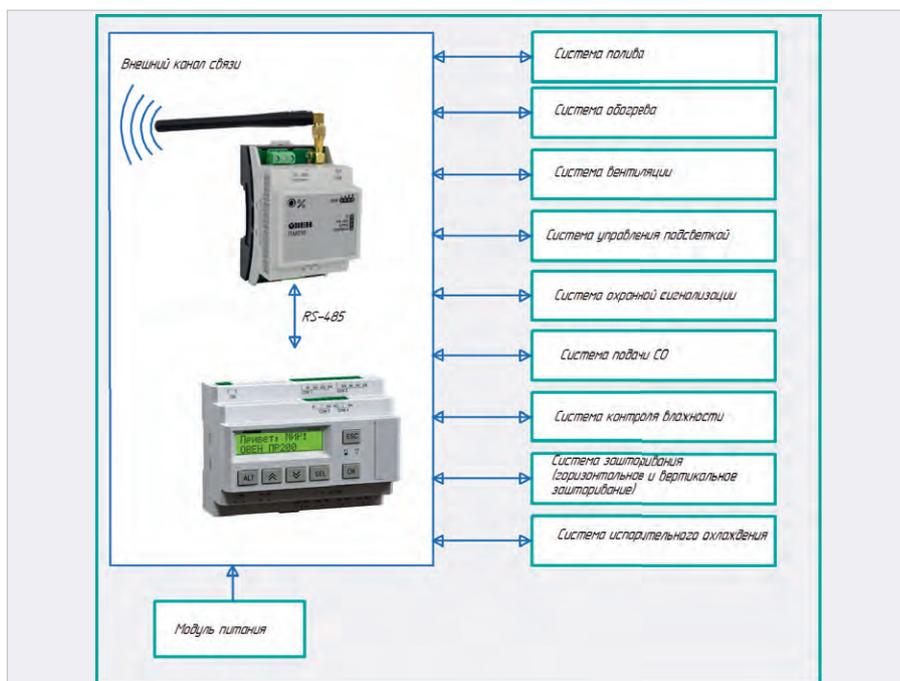


Рис. 2. Структурная схема АСУ УТ на базе ПР200

и канализации, освещения. Все эти системы предназначены для больших предприятий. Они являются сложными в установке и эксплуатации, а также имеют высокую стоимость. Их отличительная черта – высокие затраты на обслуживание, потребность в квалифицированном техническом рабочем персонале. Эти системы неприменимы для индивидуальных, частных или мелких фермерских хозяйств.

Применение современных программируемых реле позволяет реализовать свою «умную теплицу» для индивидуального хозяйства в сельской местности или в городе, в садоводческих обществах на шести сотках. Программируемое реле ОВЕН ПР200-24.4.2 (далее – ПР200) – одно из множества модификаций позволяет автоматизировать как большие тепличные комплексы, так и бюджетные теплицы для индивидуальных хозяйств. ПР200 позволяет разработать АСУ ТП для бюджетной, негабаритной теплицы, способную поддерживать благоприятные условия для культивации растений.

Устройство управляющее многофункциональное ПР200 относится к классу приборов «программируемое реле». Подобные приборы широко применяются для построения автоматизированных систем управления при решении задач локальной автоматизации. Их применение снижает затраты на проектирование и изготовление систем управления, повышает их надёжность, снижает издержки и эксплуатационные расходы. Фактически ПР200 представляет собой программируемое реле с дисплеем. Прибор предназначен для построения простых автоматизированных систем управления технологическим оборудованием. ПР200 программируется в OwenLogic на языке FBD. Пользовательская программа записывается в энергонезависимую Flash-память прибора. Прибор поддерживает следующие функции:

- работа по программе, записанной в память;
- работа в сети RS-485 по протоколу Modbus RTU / Modbus ASCII в режиме Master или Slave;
- обработка входных сигналов от датчиков;
- управление подключёнными устройствами с помощью дискретных или аналоговых сигналов;
- отображение данных на ЖКИ;
- ввод и редактирование данных с помощью кнопок на лицевой панели.

ПР200 – это программируемый управляемый автомат с дисплеем, который позволяет контролировать на дисплее состояние выходов и вхо-

дов. Для увеличения количества входов и выходов головного устройства ПР200, а значит, и для увеличения его функциональных возможностей необходимо задействовать следующие модули расширения: дискретного ввода/вывода ПРМ-Х.1; аналоговых входов и дискретных выходов ПРМ-Х.2; аналогового ввода-вывода ПРМ-Х.3. Каждый модуль имеет независимое питание с усиленной гальванической изоляцией, что позволяет подключать к прибору модули любой модификации с любым

питающим напряжением. Допускается подключение модулей с различным напряжением. Внешний вид ПР200 с подключёнными модулями расширения ПРМ-24.1, ПРМ-24.2 приведён на рис. 1.

Для удалённого обмена данными через беспроводную сеть GPRS задействован сетевой шлюз ПМ210-24. Он предназначен для передачи данных в OwenCloud. Структурная схема АСУ умной теплицы (далее – АСУУТ) на базе ПР200 приведена на рис. 2.



LITEMAX

ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

Полосковые дисплеи для транспорта

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

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



Рис. 1

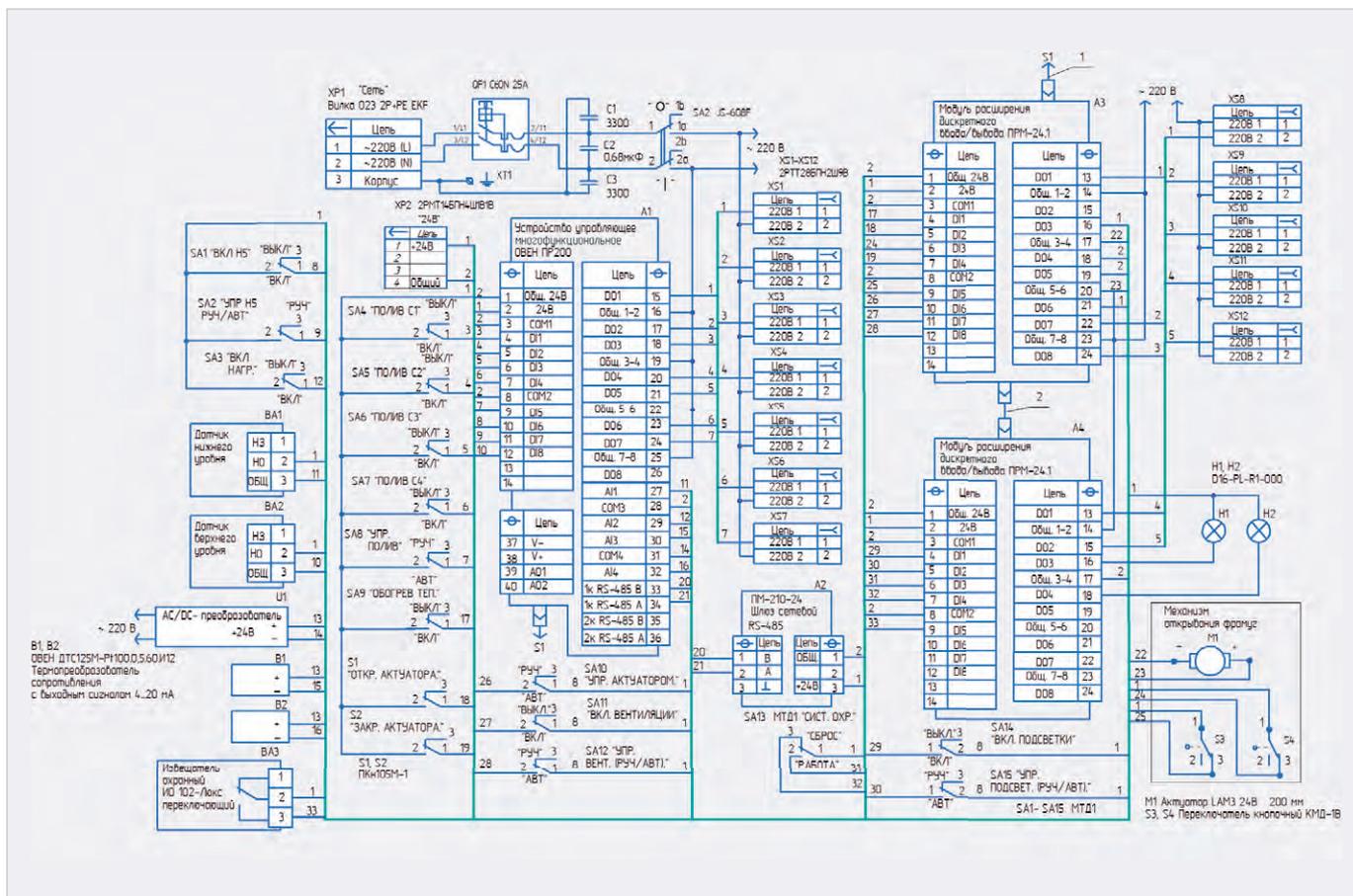


Рис. 3. Принципиальная схема PR200 с модулями расширения PPM-24.1 для системы полива, системы обогрева и вентиляции, системы подсветки и охраны

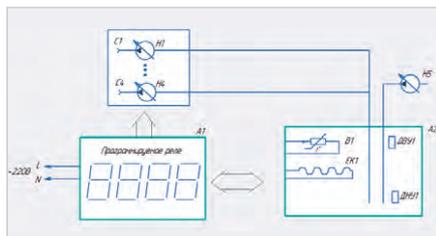


Рис. 4. Функциональная схема АСУ УТ для системы полива на базе PR200

Принципиальная схема PR200 с модулями расширения PPM-24.1 для системы полива, системы обогрева и вентиляции, системы подсветки и охраны приведена на рис. 3. Функциональная схема АСУ УТ на базе PR200 для системы полива приведена на рис. 4.

Алгоритм работы данной системы следующий. Пусть в теплице имеется четыре независимых сектора для полива, которые соответственно поливаются насосами Н1...Н4. Вода для полива забирается из накопительного бака А2. В данном баке имеются: нагреватель ЕК1; датчик температуры В1; датчик верхнего уровня ДВУ1; датчик нижнего уровня. В накопительный бак вода закачивается из внешней системы насосом Н5. Скриншот управляющей программы для систе-

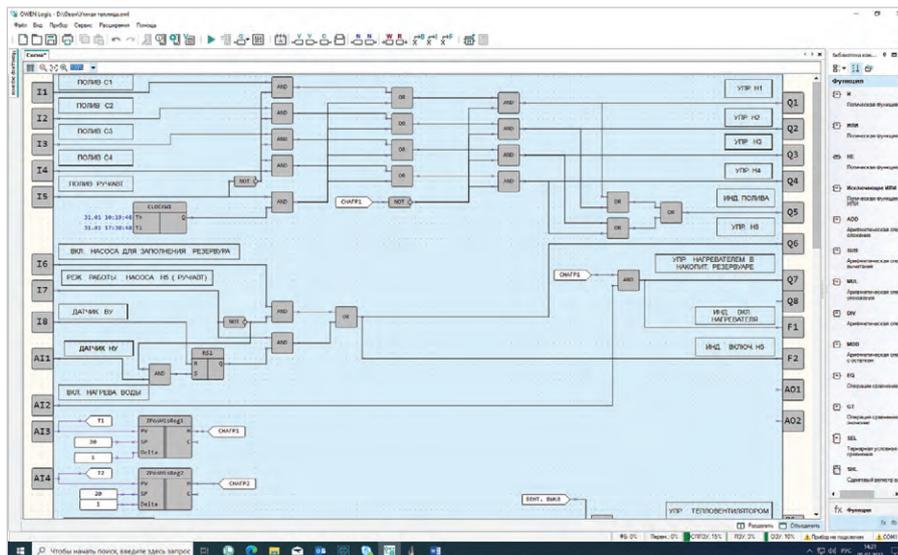


Рис. 5. Скриншот управляющей программы для системы полива в среде OWEN Logic

мы полива в среде OWEN Logic приведён на рис. 5.

В табл. 1 приведено функциональное назначение дискретных и аналоговых входов реле PR200 в системе полива.

В табл. 2 приведено функциональное назначение дискретных выходов реле PR200 в устройстве.

Система полива выполнена на базе следующих элементов: макроса 2PosHisReg1; интервальном тай-

мере с недельным циклом работы CLOCKW1; RS-триггер RS1; семи элементах 2ИЛИ, тринадцати элементах 2И и двух элементах НЕ. Алгоритм работы данной системы следующий. При установке тумблера SA8 в положение «РУЧ» осуществляется полив в ручном режиме секторов № 1–4. Для полива данных секторов необходимо тумблеры SA4–SA8 установить в положение «ВКЛ». При установке тумблера

Таблица 1. Функциональное назначение дискретных и аналоговых входов реле PR200 в системе полива

Дискретный вход в PR200	Обозначение в среде OWEN Logic	Подключение элементов управления на принципиальной схеме	Функциональное назначение в устройстве
DI1	I1	Подключение тумблера SA4	Управление поливом в секторе № 1
DI2	I2	Подключение тумблера SA5	Управление поливом в секторе № 2
DI3	I3	Подключение тумблера SA6	Управление поливом в секторе № 3
DI4	I4	Подключение тумблера SA7	Управление поливом в секторе № 4
DI5	I5	Подключение тумблера SA8	Выбор режима полива – «РУЧ»/«АВТ»
DI6	I6	Подключение тумблера SA1	Включения насоса Н5 для заполнения накопительного резервуара
DI7	I7	Подключение тумблера SA2	Выбор режима управления насосом Н5 – «РУЧ»/«АВТ»
DI8	I8	Подключение датчика уровня BA2 в накопительном баке	Контроль верхнего уровня воды в накопительном резервуаре
Аналоговый вход в PR200	Обозначение в среде OWEN Logic		
AI1 (работа в режиме дискр. входа)	A11	Подключение датчика уровня BA1 в накопительном баке	Контроль нижнего уровня воды в накопительном баке
AI2 (работа в режиме дискр. входа)	A12	Подключение тумблера SA3	Включение нагрева воды в накопительном резервуаре
AI3	A13	Подключение датчика температуры В1	Измерение и контроль температуры воды в накопительном резервуаре
AI4	A14	Подключение датчика температуры В2	Измерение и контроль температуры в теплице

Таблица 2. Функциональное назначение дискретных выходов реле PR200 в устройстве

Дискретный выход в PR200	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечание
DO1	Q1	Управление насосом № 1	Полив сектора № 1
DO2	Q2	Управление насосом № 2	Полив сектора № 2
DO3	Q3	Управление насосом № 3	Полив сектора № 3
DO4	Q4	Управление насосом № 4	Полив сектора № 4
DO5	Q5	Индикатор полива	Индикатор полива в секторах № 1–4
DO6	Q6	Управление насосом № 5	Заполнение накопительного резервуара
DO7	Q7	Управление нагревателем	Нагрев воды в накопительном резервуаре
Индикаторы в PR200			
F1	F1	Световой сигнал включения нагревателя	
F2	F2	Световой сигнал включения насоса № 5	

SA8 в положение АВТ осуществляется полив секторов №1–4 в автоматическом режиме. Ежедневный интервал полива задаётся в данном случае таймером с недельным циклом работы CLOCKW1. При установке тумблера SA2 в положение «РУЧ» осуществляется управление насоса Н5 для заполнения накопительного резервуара в ручном режиме. Для включения насоса Н5 в данном режиме необходимо установить тумблер SA1 в положение «ВКЛ». При установке тумблера SA2 в положение «АВТ» заполнение водой накопительного резервуара осуществляется автоматически. В данном случае включение насоса Н5 осуществляется при срабатывании датчика нижнего уровня в накопительном резервуаре, а выключение насоса Н5, соответственно, при срабатывании датчика верхнего уровня. Системы нагрева воды в накопительном резервуаре выполнены на базе макроса 2PosHisReg1. Макрос 2PosHisReg1 представляет собой двухпозиционный регулятор,

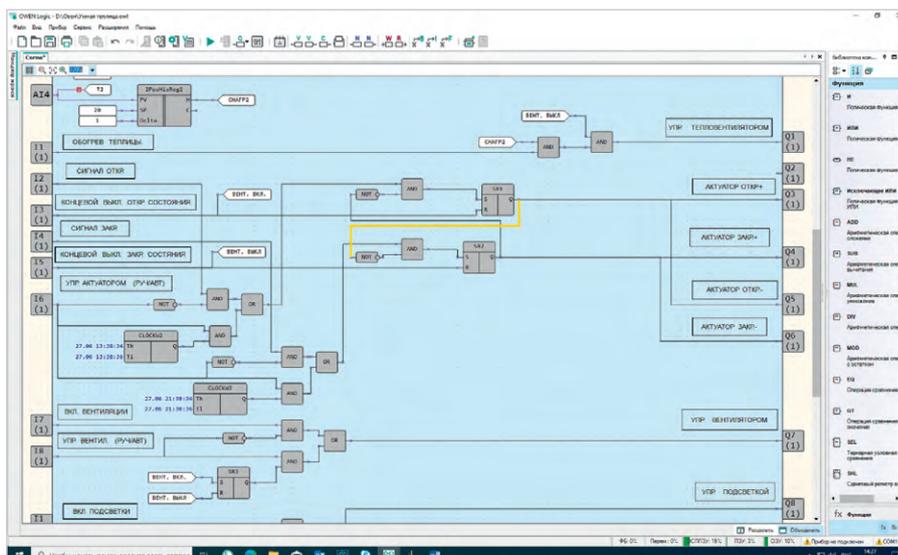


Рис. 6. Скриншот управляющей программы для системы обогрева и вентиляции в среде OWEN Logic

в котором только нужно задать уставку SP и гистерезис Delta. При установке тумблера SA3 в положение «ВКЛ» в накопительном резервуаре включается нагреватель. Вода в нём разогревается до значения уставки SP. Если темпера-

тура воды в накопительном резервуаре меньше значения уставки – полив заблокирован. Скриншот управляющей программы для системы обогрева и вентиляции в среде OWEN Logic приведён на рис. 6.

Таблица 4. Функциональное назначение дискретных выходов модулей расширения ПРМ-24.1 в устройстве

Дискретный выход в ПРМ-24.1 (А3 по рис. 4)	Дискретный выход в ПРМ-24.1 (А4 по рис. 4)	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечание
D01	–	Q1(1)	Управление тепловентилятором (тепловой пушкой)	Тепловентилятор системы обогрева теплицы
D02	–	Q2(1)	Не задействован	
D03	–	Q3(1)	Включение питающего напряжения для открывания актуатора («+»)	Одновременное включение Q3(1) и Q5(1)
D04	–	Q4(1)	Включение питающего напряжения для закрывания актуатора («–»)	Одновременное включение Q4(1) и Q6(1)
D05	–	Q5(1)	Включение питающего напряжения для открывания актуатора («–»)	Одновременное включение Q3(1) и Q5(1)
D06	–	Q6(1)	Включение питающего напряжения для закрывания актуатора («+»)	Одновременное включение Q4(1) и Q6(1)
D07	–	Q7(1)	Управление вентилятором	Вентилятор системы вентиляции теплицы
D08	–	Q8(1)	Управление подсветкой	
	D01	Q1(2)	В блоке охранной сигнализации включение исполнительного устройства в режиме «Охрана» при наличии сигнала «Тревога»	Постоянный сигнал
	D02	Q2(2)	В блоке охранной сигнализации включение исполнительного устройства в режиме «Охрана» при наличии сигнала «Тревога»	Периодический сигнал с периодом 1 с
	D03	Q3(2)	Световой сигнал режима работы блока охранной сигнализации	Индикатор Н1
	D04	Q4(2)	Световой сигнал «Тревога» блока охранной сигнализации	Индикатор Н2

в себя: интервальный таймер с недельным циклом работы CLOCKW4, два элемента 2И, элемент ИЛИ, элемент НЕ.

При установке тумблера SA15 в положение «РУЧ» осуществляется управление подсветкой в ручном режиме. В данном случае для её включения необходимо установить тумблер SA14 в положение «ВКЛ». При установке тумблера SA15 в положение «АВТ» осуществляется автоматическое включение подсветки. При этом интервал включения подсветки определяет таймер с недельным циклом работы CLOCKW4.

Блок охранной сигнализации включает в себя следующие основные элементы: RS-триггеры RS2, RS3; таймеры с задержкой включения TON1, TON2; D-триггер DTRIG1; генераторы импульсов BLINK1, BLINK2; элемент 2И; элемент НЕ, элемент ИЛИ. Рассмотрим работу блока охраны после установки тумблера SA13 в положение «Работа». При этом запускается процедура перехода в режим «Охрана». Начинается обратный отсчёт времени таймера с задержкой включения TON1 (время задержки – 45 с). При этом индикатор режима работы блока охраны Н1 периодически мигает. За это время нужно покинуть территорию тепличного хозяйства, закрыть

двери – «Сдать теплицу под охрану». У некоторых датчиков (извещателей) охраны после подачи питания имеется дежурный режим, его длительность определяется типом датчика. После дежурного режима датчики переходят в рабочий (активируются). То есть интервал задержки для TON1 заведомо должен быть больше этого значения и задаваться под каждый конкретный тип датчика охраны. Как только заданное значение времени таймера с задержкой включения TON1 примет нулевое значение, теплица ставится под охрану (режим «Охрана»). При этом индикатор Н1 горит постоянно. При включении охранного извещателя, подключённого к входу DI5 модуля расширения А4, на выходе регистра RS3 устанавливается лог.1. Начинается обратный отсчёт времени таймера с задержкой включения TON2 (время задержки – 10 с). Как только заданное значение времени таймера с задержкой включения TON2 примет нулевое значение – на выходе D-триггера DTRIG1 установится лог.1 (режим – «Тревога»). При этом индикатор Н2 начнёт мигать. Срабатывают исполнительные устройства, подключённые к выходам Q1(2), Q2(2), ревуны, блокировка дверей и пр. Для выхода из режимов «Охрана» или «Тревога»

необходимо установить тумблер SA13 в положение «Сброс».

На принципиальной схеме приведено подключение элементов управления и датчиков к входным цепям ПР200 А1, ПРМ-24.1 А3, ПРМ-24.1 А4. Тумблеры SA1-SA15 типа МТД1, кнопки S1, S2 (без фиксации) ПКн-105М-1. Извещатель охранный ВА2 типа ИО 102 Люкс. Датчики температуры В1, В2 типа ОВЕН ДТС125М-Рt100.0,5,60. И12. Исполнительные устройства подключаются к выходам ПР200 А1 и ПРМ-24.1 А3, А4 в соответствии с таблицами 2, 4 через соединители XS1–S12. Технологические шлейфы 1 и 2 (входят в комплект поставки) подключают соответственно ПР200 А1 к ПРМ-24.1 А3 и ПРМ-24.1 А3 к ПРМ-24.1 А4.

В устройстве параметры интервальных таймеров с недельным циклом работы CLOCKW, двухпозиционных регуляторов 2PosHisReg, таймеров с задержкой включения TON, генераторов импульсов BLINK – программируются. ПР200 с модулями расширения ПРМ позволяет быстро организовать достаточно гибкий, необходимый алгоритм работы «умной теплицы» и при необходимости оперативно его изменить с минимальными доработками в аппаратной части.



Индикатор разряда АКБ в беспроводной клавиатуре

Сергей Глибин (г. Москва)

Автор предлагает установку несложного в повторении индикатора разряда аккумуляторной батареи (АКБ) или химических элементов в беспроводную клавиатуру на примере модели GL-6 фирмы A4Teach. Индикатор выполнен в виде автономного малогабаритного блока и размещён в корпусе клавиатуры.

Электронные устройства или, как теперь говорят, гаджеты с автономным низковольтным питанием от малогабаритных химических элементов или аккумуляторов давно и прочно вошли в наш быт и нашу жизнь. Это произошло уже во второй половине прошлого века и было связано с появлением карманных радиоприёмников, а точнее, с массовым производством полупроводниковых приборов и микросхем. Во время работы таких устройств желателен контроль напряжения источника питания, поскольку полный разряд химических элементов или аккумуляторов при отсутствии контроля может заставить врасплох в самый неподходящий момент даже при возможности их оперативной замены. К сожалению, до сих пор контроль напряжения встраивают не во все гаджеты. Причины, скорее всего, скрываются в удешевлении их производства, проще говоря, в жадности производителей.

А ведь было бы весьма удобно и полезно получать сигнал предупреждения о понижении контролируемого напряжения питания. Во-первых, гаджет при этом некоторое время продолжает работать, и можно выбрать удобный момент для замены элементов питания или постановки АКБ на заряд. Во-вторых, известно, что разряд аккумуляторов ниже определённого уровня

губительно сказывается на сроке их службы.

У автора уже более десяти лет находится в эксплуатации беспроводная клавиатура модели GL-6 фирмы A4Teach. Она питается от АКБ из двух малогабаритных Ni-MH аккумуляторов типоразмера AAA, поэтому для контроля напряжения на АКБ был разработан несложный в повторении индикатор разряда, выполненный в виде автономного блока. Он установлен в корпусе клавиатуры.

Принципиальная схема индикатора приведена на рис. 1. На микросхеме DA1 KP1171СП20 и резисторе R1 собран детектор понижения напряжения [1]. Такие детекторы называют также супервизорами питания, и они выпускаются на различные напряжения срабатывания. При напряжении питания более 2 В ток в выходной цепи детектора KP1171СП20 равен нулю. На выходе элемента DD1.1 присутствует низкий логический уровень, поэтому работа генератора импульсов на элементах DD1.2, C1, R2 заблокирована, напряжение на затворе транзистора VT1 равно нулю и светодиод HL1 не светит. Ток потребления блоком практически не превышает 5 мкА и определяется током потребления встроенных в детектор DA1 элементов и цепей. При снижении питающего напряжения

до 2 В на выходе детектора (вывод 3) появляется напряжение низкого логического уровня, а на выходе элемента DD1.1 – высокого. Запускается генератор импульсов, и светодиод HL1 начинает вспыхивать и гаснуть с частотой 2 Гц, сигнализируя о необходимости заряда АКБ (или скорой замене химических элементов).

Введение генератора импульсов на элементе микросхемы DD1 KP1561ТЛ1 (четыре триггера Шмитта с логикой 2И-НЕ) для формирования вспышек (миганий) было обусловлено тем, что мигающие светодиоды с падением напряжения не более 1,9 В в рабочем режиме автору пока неизвестны. Для большей визуальной заметности вспышек применён обычный сверхъяркий светодиод SL-339URDSN-02N красного свечения с падением напряжения в рабочем режиме около 1,9 В.

Чертёж печатной платы и расположение элементов приведены на рис. 2. Фото с установленным на корпусе клавиатуры светодиодом приведено на рис. 3, а на рис. 4 показано фото монтажа собранного блока в корпусе клавиатуры. Налаживание после сборки не требуется.

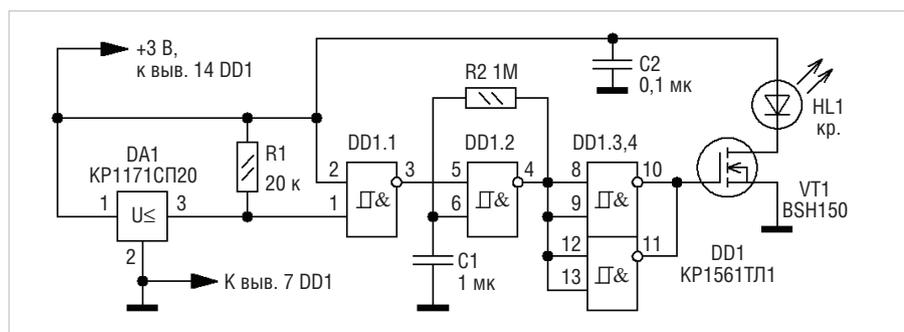


Рис. 1. Принципиальная схема

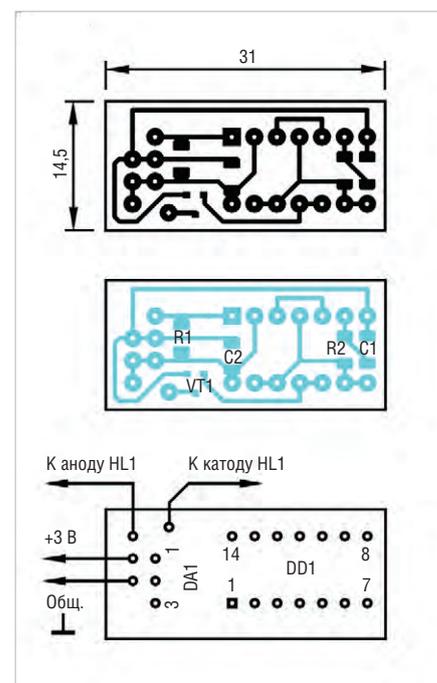


Рис. 2. Печатная плата и расположение элементов



Рис. 3. Монтаж светодиода

В заключение необходимо отметить, что подобные блоки можно встраивать в другие электронные устройства с автономным питанием. Для повышения напряжения срабатывания требуется установить тип супервизора питания на соответствующее напряжение срабатывания и предусмотреть ограни-

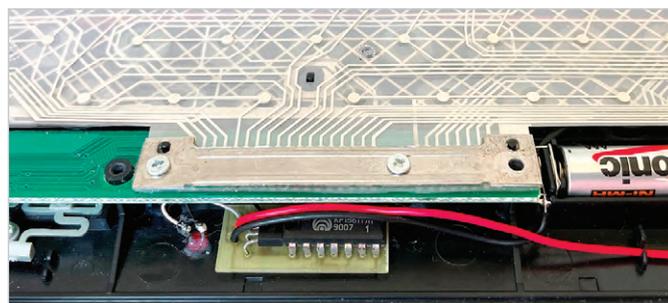


Рис. 4. Монтаж блока индикации

чение импульсного тока через светодиод HL1 до 5...10 мА дополнительным токоограничивающим резистором. Его включают последовательно со светодиодом. Читателей может заинтересовать простое схемное решение применения супервизора, которое было мною предложено автору статьи [2].

Литература

1. Детектор понижения напряжения 1171СПхх // URL: <https://static.chipdip.ru/lib/030/DOC001030243.pdf> (дата обращения: 08.08.2022).
2. Веселов А. Индикатор разрядки аккумулятора в радиоприёмнике PERFEO PFSV922 // Радио. 2018. № 7. С. 61, 62. ©

НОВОСТИ МИРА

Власти США наложили ограничения на поставки передовых ускорителей вычислений AMD и NVIDIA в Китай и Россию

Последний день календарного года принёс китайским и российским клиентам AMD и NVIDIA неприятную новость. Власти США запретили обеим компаниям поставлять в указанные страны ускорители вычислений на базе GPU, соответствующие определённым критериям производительности. В случае с NVIDIA речь идёт об изделиях серий A100 и H100, а компания AMD отнесла к перечню «санкционных» ускорители Instinct MI250.

По мнению представителей AMD, как поясняет Reuters, под запрет не попали поставки ускорителей Instinct MI100. При этом в AMD считают, что новые ограничения не окажут существенного влияния на бизнес компании, поскольку торговые обороты на этом направлении не были достаточно велики. Акции NVIDIA на фоне этих новостей потеряли в цене более 6%, в случае с AMD снижение не превысило 3,8%. Считается, что за уровень производительности, определяющий необходимость запрета на поставки ускорителя в Китай и Россию, взято быстрое действие решения NVIDIA A100 с архитектурой Ampere.

По замыслу американских чиновников, передовые компоненты американского происхождения не должны использоваться китайскими и российскими клиентами для совершенствования военных технологий. Ускорители вычислений AMD и NVIDIA, попавшие под запрет, теоретически могут использоваться в системах распознавания речи для прослушивания переговоров и распознава-

ния военных объектов на снимках местности, получаемых с разведывательных спутников.

3dnews.ru

Российские ретейлеры активно переключаются на продажу отечественных ОС

Российский ретейлер «М.Видео-Эльдорадо» начинает розничные продажи отечественной операционной системы «Ред ОС» на базе Linux и офисного пакета «P7-Офис», сообщил «Коммерсантъ».

Как полагают разработчики, в связи с проблемами с доступом к софту Microsoft им удастся уже к середине 2023 года выйти в лидеры в потребительском сегменте.

Сейчас купить можно операционную систему «Ред ОС» на базе ОС Linux – версия для ПК стоит 3500 рублей, для сервера – 9500 рублей. Цена офисного пакета «P7-Офис» тоже стартует с 3500 рублей.

Решения российских разработчиков конкурентоспособны, становятся более узнаваемыми и востребованными, считают в «М.Видео-Эльдорадо».

Там же отмечают, что «определённые запасы американского софта Microsoft сохраняются».

При этом ранее продажи «Ред ОС» стартовали в «Ситилинке» в конце 2021 года. Заявлено, что количество проданных экземпляров выросло вдвое в августе по сравнению с июлем этого года, но точных цифр там не раскрыли.

Однако собеседник «Ъ» сомневается, что на рынке IT подобные продукты станут заметно востребованы: «основной спрос будет со стороны тех, кому необходимо лицензи-

онное ПО, это в первую очередь корпоративные заказчики». Простые потребители же предпочтут пиратские версии Windows.

Из-за событий в Украине Microsoft объявила о приостановке работы в России. В связи с этим значительно вырос интерес пользователей к пиратским версиям Windows, а также был отмечен рост продаж отечественных операционных систем для физических лиц.

industry-hunter.com

Российские учёные создадут ПО для ускорения проектирования микросхем

Программное обеспечение (ПО), которое ускорит автоматическое проектирование микросхем, предложили разработать специалисты Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». Об этом 19 августа сообщила пресс-служба Минобрнауки.

Отмечается, что новое ПО позволит сократить время размещения и трассировки (пошагового выполнения программы) компонента на печатных платах без ущерба качеству.

Также исследователи предложили реализовать программный модуль по автоматическому размещению компонентов на плате и его можно внедрить в уже существующую систему автоматизированного проектирования (САПР).

При этом уточняется, что итоговым результатом такого проекта будет программное обеспечение, которое рассчитывает оптимальное расположение компонентов с учётом ограничений, которые заданы проектировщиком.

regnum.ru

Дистанционный регулятор яркости люстры с функцией плавного включения

Александр Одинец (a_odinets@tut.by)

Автомат обеспечивает плавное включение лампы накаливания в 256 ступеней с дискретностью 0,4%, а затем регулировку яркости в 16 ступеней «по кругу» сначала по убыванию (8 ступеней), а потом по возрастанию (также 8 ступеней) нажатием любой кнопки пульта ДУ с частотой несущей 36 кГц. Благодаря схемотехническому исполнению возможна реализация устройства на ПЛИС.

Общие сведения

В современных системах дистанционного управления (ДУ) телевизионной и другой аппаратурой в основном используют фотоприёмники с определённой несущей частотой. Такой ИК-приёмник ДУ должен восстанавливать данные с двухфазным кодированием, он должен реагировать на большие быстрые изменения

уровня сигнала независимо от помех. Ширина импульсов на выходе приёмника должна отличаться от номинальной не более чем на 10%. Приёмник должен быть нечувствительным к постоянным внешним засветкам. Удовлетворить всем этим требованиям достаточно непросто. В последнее время большое распространение получили трёхвыводные

интегральные приёмники ИК ДУ. В одном корпусе они объединяют фотодиод, предусилитель и формирователь. На выходе формируется обычный ТТЛ-сигнал без заполнения 36 кГц, пригодный для дальнейшей обработки цифровыми ИМС. Такие приёмники производятся многими фирмами, это SFH-506 фирмы Siemens, TSOP1736 фирмы Vishay, TFMS5360 фирмы Temic, ILM5360 производства НПО «Интеграл» и другие. Существует несколько стандартов (протоколов) ДУ, к примеру RC-5, которые отличаются, в частности, частотой заполнения, также существуют интегральные приёмники для разных частот. Для работы с кодом RC-5 следует выбирать модели, рассчитанные на частоту заполнения 36 кГц. Интегральные приёмники весьма чувствительны к помехам по питанию, поэтому всегда рекомендуется применять фильтры, например, RC.

Для управления автоматом можно использовать пульты от различных телевизоров и другой аппаратуры, главное, чтобы был использован фотоприёмник того же стандарта (протокола), что и передатчик. Каждая команда, посланная пультом, состоит из модулированных импульсов, эквивалентная (средняя) частота которых лежит в пределах 300–1000 Гц. Когда эти посылки принимает фотоприёмник, на его выходе появляются отрицательные импульсы. В отсутствие приёма на выходе фотоприёмника — логическая единица.

Схема электрическая и принцип работы

Схема электрическая принципиальная автомата показана на рис. 1. Функционально автомат состоит из четырёх частей: 1) блока питания; 2) фазоимпульсного регулятора мощности; 3) RS-триггера режима работы; 4) формирователя управляющих кодов яркости лампы накаливания.

Блок питания содержит: 1) параметрический стабилизатор на элементах R1, VD1, VD2, 2) интегральный стабилизатор DA1 напряжения «5В» и 3) конденсаторы фильтра C1...C4. Фазоимпульсный регулятор мощности содержит: 1) задающий НЧ-генератор на триггере Шмитта DD1.3; 2) одновибратор-схему

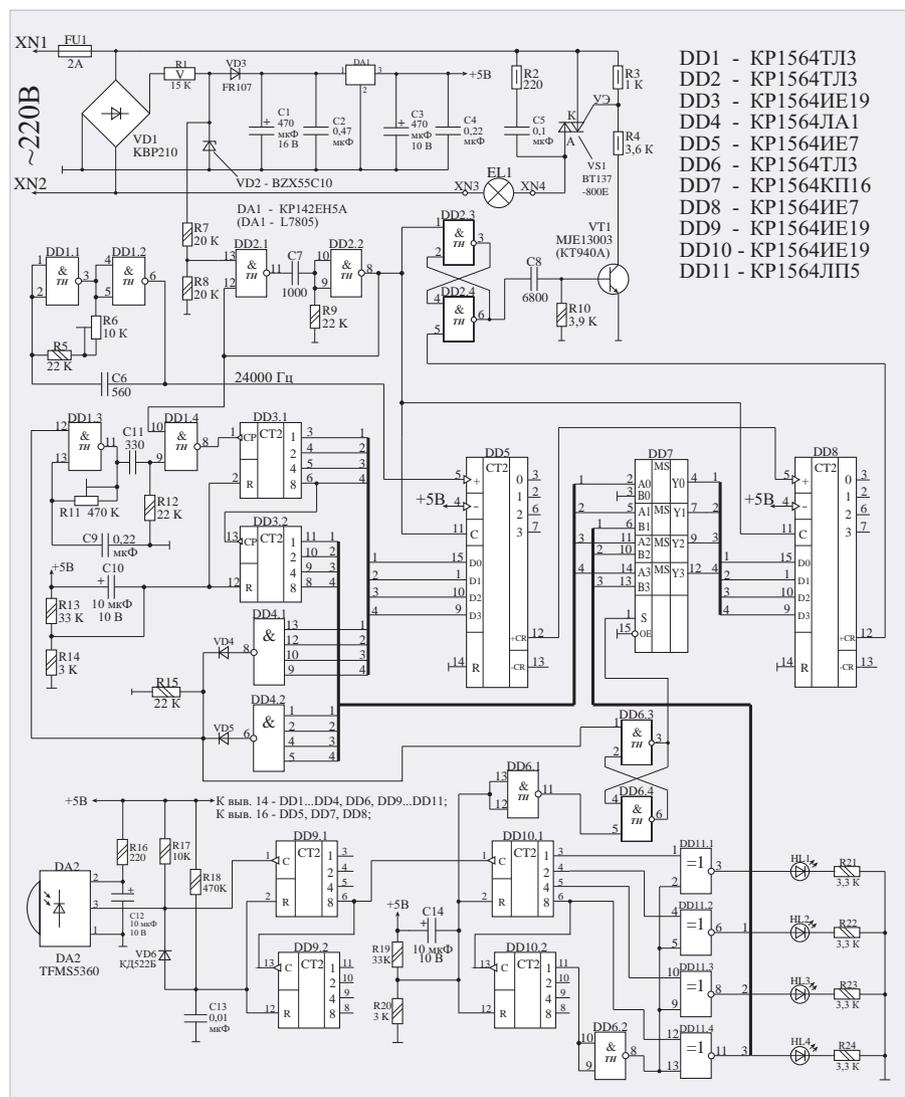


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная автомата

выделения моментов перехода сетевого напряжения через ноль на элементах DD2.1, DD2.2; 3) RS-триггер управления симистором на элементах DD2.3, DD2.4; 4) усилительный каскад на транзисторе VT1; 5) ВЧ-генератор прямоугольных импульсов на элементах DD1.1, DD1.2; 6) схему формирования кодовых комбинаций уровня яркости, в состав которой входят счётчики DD3.1, DD3.2, логические элементы DD4.1 и DD4.2, а также реверсивные счётчики-формирователи угла сдвига DD5 и DD8. RS-триггер режимов работы состоит из элементов DD6.3 и DD6.4. Формирователь управляющих кодов лампы накаливания состоит из счётчиков DD9.1, DD9.2, DD10.1, DD10.2, инвертора DD6.2, элементов «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» DD11.1...DD11.4.

Функции элемента задержки, исключаящего чрезмерно быстрое изменение яркости, выполняет счётчик DD9.1. Он делит частоту импульсов принимаемого сигнала на 16 таким образом, что 16 входным импульсам ИК-излучения на входе фотоприёмника соответствует один выходной импульс счётчика. Поэтому для полного прохождения изменения яркости от нуля до максимума и обратно необходимо удерживать кнопку пульта нажатой несколько секунд.

Для того чтобы не происходило переключение счётчика DD9.1 от накопления вследствие многократного использования пульта ДУ в процессе управления телевизором, здесь имеется схема на диоде VD6, конденсаторе C13 и резисторе R18. Эта схема обнуляет счётчик DD9.1 через некоторое время после отпущения кнопки пульта ДУ. Когда пультом не пользуются, на выходе фотоприёмника DA2 формируется логическая единица. Диод VD6 закрыт, и конденсатор C13 заряжен через резистор R18 до напряжения логической единицы. Счётчик DD9.1 обнулён. При приёме сигнала от пульта на выходе фотоприёмника DA2 возникают импульсы, первый же из которых разряжает конденсатор C13 через диод VD6 и внутренний ключевой транзистор фотоприёмника DA2. В паузах между импульсами C13 не успевает зарядиться через R18, поэтому, пока идёт приём сигнала от пульта, на выводе 2 счётчика DD9.1 поддерживается логический ноль. После прекращения подачи сигнала с пульта диод VD6 закрывается, и конденсатор C13 быстро заряжается через R18. Как только напряжение на C13 достигнет уровня логической единицы, счётчик DD9.1 обнуляется.

Далее счётные импульсы с выхода DD9.1 поступают на вход счётчи-

ка DD10.1, а затем DD10.2, которые совместно с элементом DD6.2, а также DD11.1...DD11.4 типа «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» образуют схему формирования управляющих двоичных кодовых комбинаций, каждая из которых соответствует определённому уровню яркости лампы накаливания. Двоичная комбинация отображается светодиодной линейкой HL1...HL4 и поступает на двоичные входы предустановки реверсивных счётчиков DD5 и DD8, причём на входы счётчика DD8 — через мультиплексор DD7.

Сущность фазоимпульсного метода [1] управления яркостью заключается в изменении времени задержки открывания симистора, считая с момента перехода сетевым напряжением нулевого значения. Чем больше время задержки, тем больше времени симистор находится в закрытом состоянии, тем меньше яркость, и наоборот, чем раньше открывается симистор, тем больше яркость лампы накаливания.

В начальный момент при включении питания устанавливается режим плавного увеличения яркости от нуля до максимума в 256 ступеней благодаря установке RS-триггера на элементах DD6.3-DD6.4 в условное нулевое состояние. При этом уровень лог. «0» с выхода элемента DD6.3, воздействуя на вход «S» (вывод 1) мультиплексора DD7, подключает к его выходам входные линии A0...A3, а значит, выходы счётчика DD3.2.

Рассмотрим работу автомата, считая с момента перехода напряжением сети нулевого значения. При этом ток через стабилитрон VD2 уменьшается до нуля, и на его катоде формируется отрицательный импульс пилообразной формы амплитудой 10 В. Этот импульс через делитель R7-R8 поступает на вход одновибратора на элементах DD2.1, DD2.2, который формирует из него стабильный по длительности, но уже прямоугольный отрицательный импульс. Этот импульс устанавливает RS-триггер на элементах DD2.3 и DD2.4 в исходное состояние и одновременно обеспечивает загрузку двоичной комбинации с выходов счётчиков DD3.1 и DD3.2 в собственные двоичные разряды счётчиков DD5 и DD8. По входам «D0...D3» счётчиков DD5 и DD8 будет записана комбинация «0000000», так как счётчики DD3.1 и DD3.2 были установлены при включении питания в нулевое состояние благодаря цепочке C10-R14.

Благодаря выходным импульсам генератора (DD1.1, DD1.2), поступающим на вход суммирования (вывод 5) счётчика DD5, происходит увеличение его состояния, а вслед за ним и DD8, и как только

второй из них (DD8) достигнет пятнадцатого состояния, то следующий отрицательный импульс на его суммирующем входе вызовет появление на его выходе переноса «+CR» (вывод 12) короткого отрицательного импульса и переброс RS-триггера на элементах DD2.3 и DD2.4 в противоположное состояние. Теперь на нижнем по схеме выходе RS-триггера (выводе 6 элемента DD2.4) появится положительный перепад, который после ограничения по длительности дифференцирующей цепочкой C8-R10 вызовет кратковременное открывание транзистора VT1 и включение симистора VS1. Лампа окажется подключённой к сети и будет светиться с минимальной яркостью. Симистор будет находиться во включённом состоянии до следующего момента перехода сетевым напряжением нулевого значения. Этот процесс будет повторяться с удвоенной частотой сети, т.е. с частотой 100 Гц.

В таком режиме автомат будет работать до момента поступления очередного счётного импульса на вход счётчика DD3.1. Очередной счётный импульс с выхода генератора на элементе DD1.3 увеличивает состояние счётчика DD3.1 на единицу, а отрицательным импульсом с выхода одновибратора (DD2.1 и DD2.2) производится запись двоичной комбинации в счётчики DD5 и DD8, что приводит к увеличению яркости лампы накаливания на 0,4%. Теперь в собственные двоичные разряды счётчиков DD5 и DD8 загружается двоичный код «00000001» и так далее по возрастанию, что приводит к увеличению яркости лампы накаливания с шагом 0,4%. Таким образом, будет происходить постепенное увеличение среднего значения тока, а значит, и яркости от 0 почти до 100%. При достижении счётчиками DD3.1 и DD3.2 пятнадцатых состояний на выходах элементов DD4.1 и DD4.2 сформируются уровни лог. «0», которые через диоды VD4 и VD5 заблокируют работу генератора на триггере Шмитта DD1.3. Счётчики DD3.1 и DD3.2 останутся в неизменном пятнадцатом состоянии. Теперь яркость лампы накаливания будет соответствовать максимальному значению почти 100%.

Одновременно уровень лог. «0» с катодов диодов VD4 и VD5 воздействует на верхний по схеме вход RS-триггера на элементах DD6.3 и DD6.4 и устанавливает его в единичное состояние. При этом уровень лог. «1» с выхода элемента DD6.3, воздействуя на вход «S» (вывод 1) мультиплексора DD7, подключает к его выходам входные линии B0...B3. Таким образом,

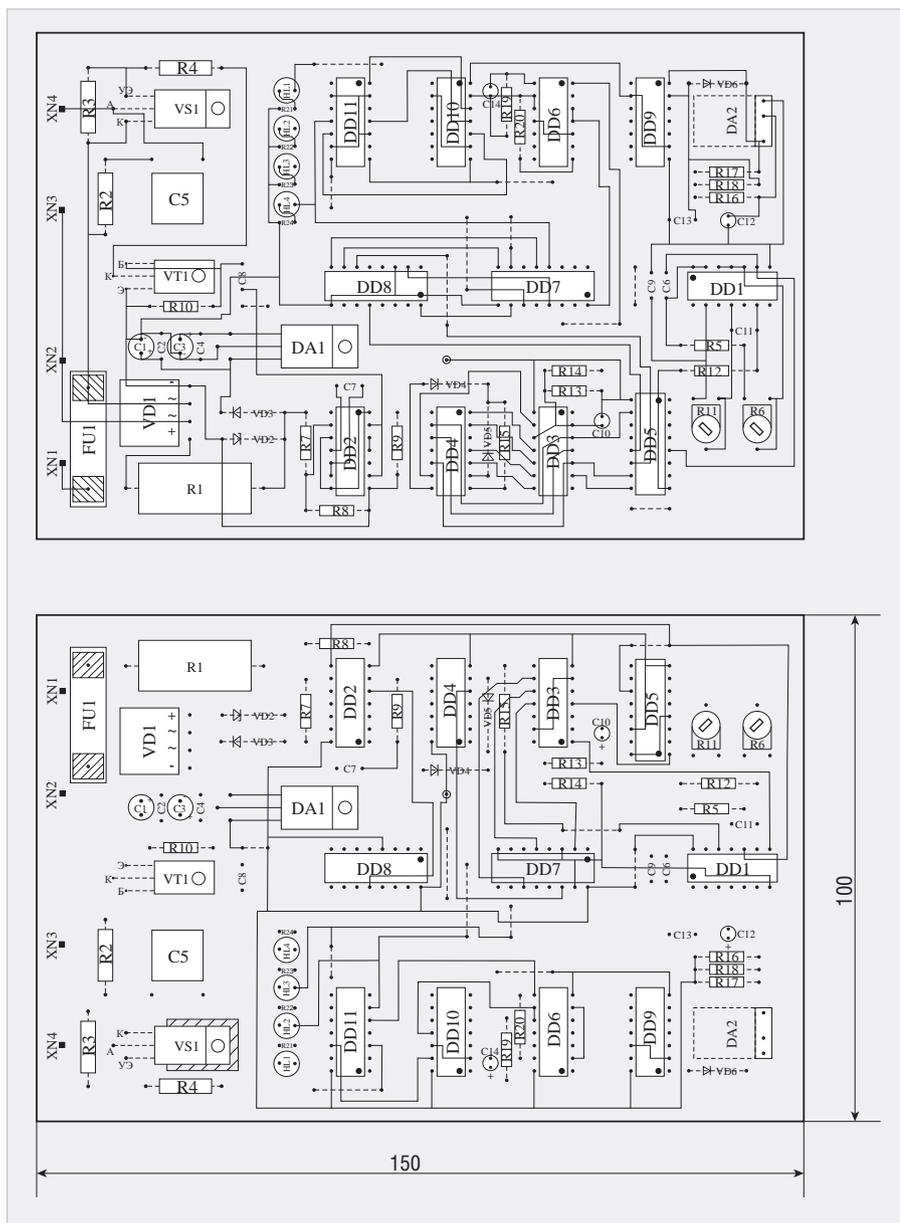


Рис. 2. Печатная плата из двустороннего фольгированного текстолита

к входам счётчика DD8 оказываются подключёнными выходы логических элементов «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» DD11.2...DD11.4. Автомат переходит в режим регулировки яркости в 16 ступеней «по кругу», сначала по убыванию (8 ступеней), а потом по возрастанию (также 8 ступеней). Регулировка яркости производится с дискретностью 12,5 %.

Конструкция и детали

Автомат собран на печатной плате (рис. 2) из двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм размерами 100×150 мм. В устройстве применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, SQP (R1), С2-33-0,5 (R2...R4), подстроечные СПЗ-386 в горизонтальном исполнении, конденсаторы неполярные — типа К73-17 (C5), К10-17 — остальные, оксидные — К50-35 или

импортные. Стабилитрон VD2 — обязательно с напряжением стабилизации 10 В — может быть типа BZX55C10, BZX85C10, KC510A, Д814В или аналогичный, диод VD3 — кремниевый средней мощности. Светодиоды использованы сверхъяркие четырёх разных цветов диаметром 5 мм — красный (HL1), зелёный (HL2), жёлтый (HL3) и синий (HL4). Они нужны только в процессе настройки. Все ИМС серии КР1564 заменимы на соответствующие аналоги серии КР1554 или импортные 74НСxx, а также 74АСxx. Симисторы могут быть из серий ВТ137, ВТ138, ВТ139 с минимально допустимым рабочим напряжением не менее 400 В. При использовании указанных четырёхквadrантных симисторов параллельно силовым электродам подключается демпферная цепочка, состоящая из последовательно включённых металло-

плёночного конденсатора типа К73-17 ёмкостью 0,1 мкФ на напряжение 400 В и резистора мощностью 0,5 Вт сопротивлением 220 Ом. Демпферная цепочка необходима для предотвращения ложных срабатываний симистора при включении автомата. Возможно также применение трёхквadrантных симисторов типа ВТА208, ВТА216 и аналогичных. При этом в установке демпферной цепочки нет необходимости. При мощности лампы накаливания (группы ламп) до 150 Вт симистор на дополнительный теплоотвод не устанавливается. В качестве теплоотвода служит сама печатная плата. Симистор фиксируется на плате с помощью винтового соединения. Для этого на плате предусмотрено отверстие диаметром 3 мм. Интегральный стабилизатор применён типа КР142ЕН5А (L7805).

Настройка

Настройка автомата заключается в установке необходимой скорости нарастания яркости от нуля до максимума при первом включении подстроечным резистором R11 и частоты задающего ВЧ-генератора резистором R6 около 24 кГц. Сделать это можно визуально наблюдением изменения яркости от нуля до максимума в течение 3...5 секунд при первом включении автомата в сеть. Частоту ВЧ-генератора также можно установить визуально подстроечным резистором R6. Для этого после включения лампы накаливания на максимум любой кнопкой пульта устанавливают нулевую кодовую комбинацию на выходах элементов «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» DD11.1...DD11.4 (светодиоды HL1...HL4 при этом должны быть погашены). Затем подстроечным резистором R6 добиваются полного погасания лампы накаливания или её минимального уровня яркости на грани выключения. На этом настройка завершена. Автомат готов к работе.

Заключение

В заключение следует напомнить о соблюдении правил техники безопасности. Конструкция не имеет гальванической развязки от сети переменного тока! Все элементы находятся под напряжением ~220 В! При настройке устройства необходимо использовать отвёртку с ручкой из изоляционного материала.

Литература

1. *Одинец А.Л.* Цифровые автоматы защиты лампы накаливания с фазоимпульсным и ШИМ-управлением // Современная электроника. 2016. № 8.

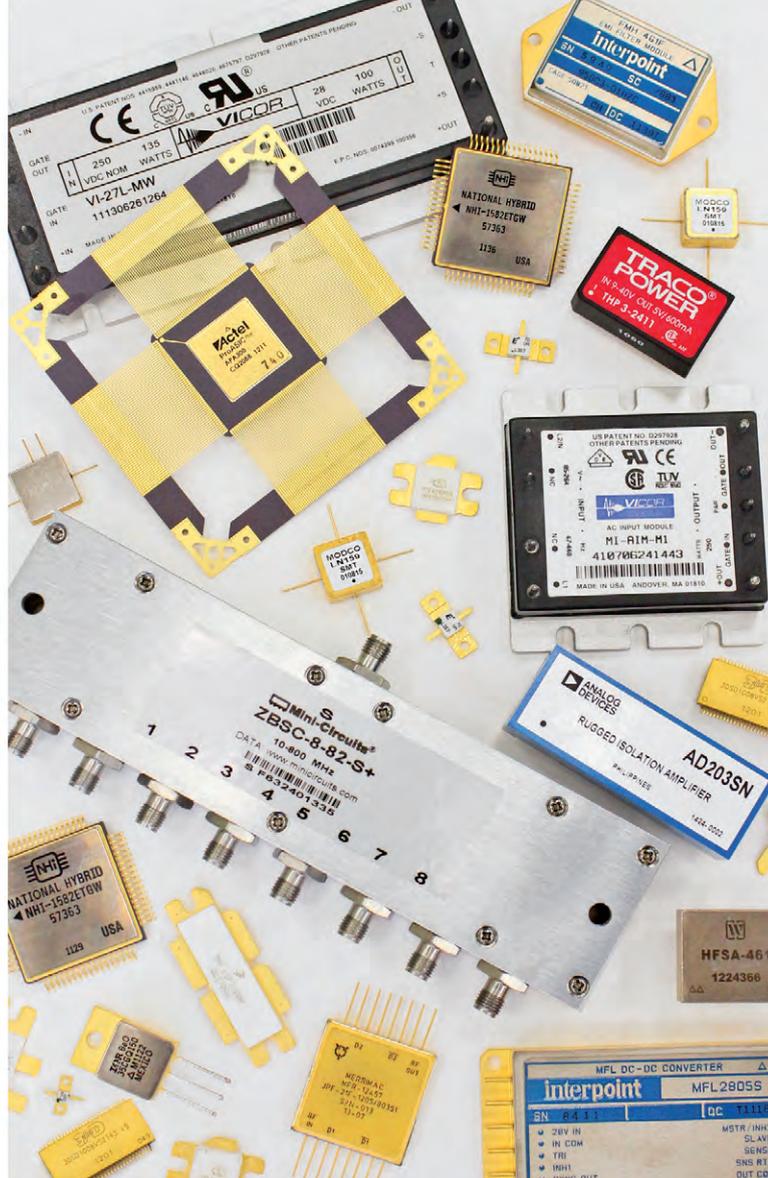


КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ ЭКБ

**ВСЯ ПОСТАВЛЯЕМАЯ
ПРОДУКЦИЯ ПРОХОДИТ
«ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ»
И «ИДЕНТИФИКАЦИЮ»**

АО «ТЕСТПРИБОР» осуществляет комплексные поставки электронных компонентов отечественного и иностранного производства для различного применения классов:

- Industrial, ■ Military, ■ Space



ПРОГРАММА ПОСТАВОК

- Микросхемы
- ПЛИС
- СБИС
- Источники питания
- Преобразователи
- Конденсаторы
- Резисторы
- Транзисторы
- Диоды
- Реле
- Переключатели
- Разъемы
- Фильтры
- Атенюаторы
- Ответвители

ЕТС ЭЛЕКТРОНИКС

НЕТ НИЧЕГО ДОРОЖЕ, ЧЕМ НАДЕЖНЫЙ ПОСТАВЩИК



ПРОИЗВОДИТЕЛИ



ФИЦИАЛЬНЫЕ ДИЛЕРЫ



ОФИЦИАЛЬНЫЕ ДИСТРИБЬЮТОРЫ



ООО "ЕТС ЭЛЕКТРОНИКС"

+7 (495) 227-37-75 • www.etcelectronics.ru
+7 (495) 109-60-90 • info@etcelectronics.ru



ЭЛЕКТРОНИКС
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

