

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

5

2024

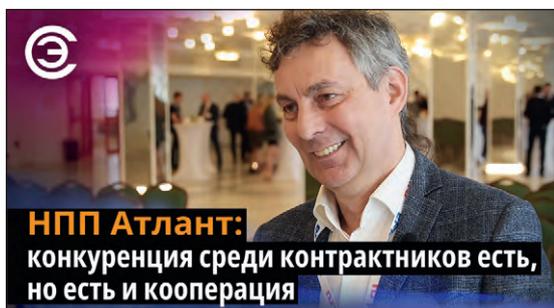
СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОДОЛЖАЕТСЯ: СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ. МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

В номере:

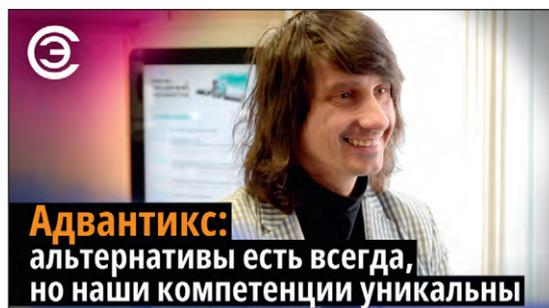
ИЗ ГРЯЗИ – В... ГАДЖЕТ:
где зарыта
электроэнергия

РАНО СТАВИТЬ ТОЧКУ:
квантовые точки
в промышленных
технологиях

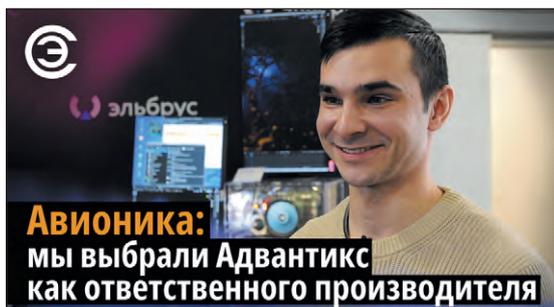
ВОТ КАКАЯ ЗАГОГУЛИНА:
расчёт линий передач
в Delta Design



Интервью с Сергеем Постновым,
председателем совета директоров
ООО НПП «Атлант»



Интервью с Алексеем Аввакумовым,
начальником отдела промышленных
компьютеров ADVANTIX



Интервью с Владимиром Щербаковым,
АО МППК «Авионика»



Интервью с Сергеем Дериглазовым,
генеральным директором 332LAB



17-я международная выставка



ЭЛЕКТРОНИКА ТРАНСПОРТ

информационные технологии и электроника для пассажирского транспорта и транспортной инфраструктуры



2024

26-28 июня
Москва
Экспоцентр



Здравствуйтесь, уважаемые друзья!

В этом номере мы публикуем первую часть большой статьи, посвящённой рассказу о состоянии и перспективах исследований в области высокотемпературной сверхпроводимости. В этой части рассматривается понятие сверхпроводимости при высоких температурах и основные достижения в этой области на текущий момент.

САПР Delta Design – первая современная отечественная система автоматизированного проектирования печатных плат, реализующая сквозной цикл проектирования, разработанная с учётом российских ГОСТов и совместимая с международными стандартами. В этом выпуске журнала мы хотим продолжить рассказ о новых востребованных возможностях системы описанием инструмента для расчёта параметров линий передачи SimPCB.

Технологии, основанные на квантовых точках, применяются в электронике, биологии, сенсорике и энергетике. Часть третья статьи о квантовых точках посвящена разработке промышленных способов синтеза коллоидных квантовых точек.

Кабельные угловые соединители часто используются в разнообразных изделиях СВЧ-диапазона частот. Их применение обеспечивает уменьшение допустимого радиуса изгиба кабеля в соединяемой с ним кабельной сборке и позволяет снизить нагрузку на кабель. В нашей статье мы расскажем об особенностях угловых соединителей от различных производителей.

Мы продолжаем делать обзоры необычных перспективных источников энергии, состояния отечественного рынка радиоэлектроники. Описание конструкции программируемой светодиодной гирлянды и способа ремонта пылесоса Dyson, пример управления шаговым двигателем при помощи программируемого реле, а также многое другое ждёт вас в этом номере журнала.

Заходите на наш обновлённый информационный портал www.cta.ru, где вы найдёте самые свежие новости из мира электроники и промышленной автоматизации, а также все статьи, публикуемые в наших журналах!

Спасибо, что остаётесь с нами, читайте с удовольствием. Всего вам доброго!

Юрий Широков, главный редактор

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, Р. Х. Хакимов

Вёрстка А. М. Бабийчук

Обложка Д. В. Юсим

Распространение С.Ю. Чепурова (shop@cta.ru)

Реклама И. Е. Савина (shop@cta.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

shop@cta.ru • www.cta.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, 2024

Мы в соцсетях!



СОДЕРЖАНИЕ 5/2024

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

Delta Design 4-я стр. обл.

INNODISK 33

Raystar 51

Акметрон 4

МЕТРАН 7

МикроЛАБ Системс 5

Симметрон 4

Элеконд 11

Электродеталь 6

Электроника-Транспорт 1

Смотрите на канале
**СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

**Вместе
мы сила!**



Иван Покровский, АРПЭ



RUTUBE

YouTube

РЫНОК

4 Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

8 Резьбовые радиочастотные соединители для монтажа на печатные платы под углом 45 и 30 градусов

Кива Джуринский, Александр Сотников

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12 Нетрадиционные источники энергии MFC и электропитания РЭА из биосреды. Инновационная разработка

Антти Эс

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

18 Применение программируемого реле для задач управления шаговым двигателем

Сергей Шишкин

24 Программируемое 32-канальное светодиодное устройство

Александр Одинец

32 Альтернативный ремонт пылесосов фирмы Dyson в условиях санкций

Антон Чепенёв

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

34 Обзор основных возможностей инструмента SimPCB для расчёта параметров линий передач в программе Delta Design

Вячеслав Кухарук, Виктор Ухин, Ольга Смирнова, Дмитрий Коломенский

37 Учёт и оценка влияния параметров переходного отверстия на передачу высокочастотного сигнала

Виктор Ухин, Вячеслав Кухарук, Ольга Смирнова, Дмитрий Коломенский

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

40 Поле атмосфериков на фоне сейсмической активности при различной геофизической обстановке (экспериментальные данные)

Алексей Галахов

46 Сверхпроводимость при высоких температурах: реальность и фальсификации. Часть 1. От низкотемпературной до высокотемпературной сверхпроводимости

Виктор Алексеев

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

54 Открытие квантовых точек и разработка технологии их массового производства. Часть 3. Технология синтеза коллоидных квантовых точек

Виктор Алексеев

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

60 Выставка ExpoElectronica 2024 и проблемы импортозамещения. Альтернативы китайским поставщикам

Андрей Кашкаров

Новости

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Открыт сервисный центр компании «АКМЕТРОН» по ремонту и обслуживанию измерительного оборудования

За последние 2 года многие иностранные производители измерительной техники ушли из РФ и закрыли свои представительства, оставив российских заказчиков без технической и сервисной поддержки, в связи с чем резко возрос спрос на услуги качественного ремонта и сервисного обслуживания западной измерительной техники. В ответ на запрос рынка открыт Сервис-центр, выполняющий широкий спектр работ по обслуживанию измерительных приборов,

включая диагностику, ремонт и обновление программного обеспечения.

Сервис-центр «АКМЕТРОН» обслуживает в том числе высокочастотное оборудование топовых западных производителей, включая Keysight, R&S, NI, MPI и др.

АО «АКМЕТРОН» является официальным партнёром RIGOL Technologies в России и имеет лицензию на гарантийный ремонт приборов этого производителя.

На диагностику принимаются осциллографы, мультиметры, генераторы сигналов, анализаторы спектра, зондовые станции и другие средства измерений.

Сервис-центр расположен в Московском офисе «АКМЕТРОН» по адресу: ул. Рабочая,



93, стр. 2, БЦ «Новорогожский».

Подать заявку на диагностику измерительной техники можно на сайте АО «АКМЕТРОН» или по телефону.

+7 (495) 252-00-96

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Система на модуле Hailo-15 SOM с процессором машинного зрения AI мощностью до 20 TOPS

Компания Hailo представила свой четырехъядерный процессор Hailo-15 AI Vision на базе Cortex-A53. Процессор оснащён усовершенствованным механизмом компьютерного зрения и может обеспечить вычислительную мощность до 20 TOPS.

В свою очередь, компания SolidRun представляет систему на модуле, которая оснащена Hailo-15 SoC, а также включает в себя до 8 Гбайт оперативной памяти LPDDR4, хранилище eMMC объёмом 256 Гбайт и поддержку двух камер с видеокодировщиком H.265/4.

Спецификация Hailo-15:

- SoC – Hailo-15 с 4 процессорами Cortex A53 @ 1,3 ГГц; 12 kDMIPS
- Память и хранение
 - До 8 Гбайт LPDDR4, флеш-память eMMC от 8 до 256 Гбайт (по умолчанию 4 Гбайт LPDDR4, 32 Гбайт eMMC)
 - Загрузочная флеш-память QSPI 32 Мбит
- Ядро нейронной сети
 - 20 TOPs на Hailo 15H SOM
 - 11 TOPs на Hailo 15M SOM
 - Особенности запатентованной

архитектуры Hailo со структурно-определённым потоком данных.

- Интерфейс дисплея – 4-полосный MIPI DSI
- Подсистема зрения
 - Двойная камера; 12-мегапиксельный ISP с HDR
 - Видеокодер H.265/H.264 (HEVC и AVC) 4K при 30 кадрах в секунду
 - 2×4-полосный MIPI-CSI2
 - Поддерживает датчики изображения IMX334 и IMX678
- Беспроводное соединение – 802.11 a/b/g/n/ac + Bluetooth 5.0
- Интерфейсы данных – USB 3.1, Gigabit Ethernet
- Разъёмы несущей платы – 3 разъёма Hirose DF40 B2B
- Интерфейсы – SDIO, UART, SPI, I2C, I2S, GPIO, аудио
- Напряжение ввода-вывода – 1,8 В
- Основное напряжение – 5 В
- Размер – 47×30 мм

Система будет доступна в 2 вариантах: Hailo-15M и Hailo-15H. Hailo-15M будет предлагать 11 TOPS вычислительной мощности, тогда как Hailo-15H имеет топовую версию с 20 TOPS. Модуль также имеет 12-мегапиксельный процессор обработки изображений (ISP) с аппаратным

кодировщиком H.264/H.265 и поддержкой HDR. С помощью датчиков изображения Sony IMX334 и IMX678 этот модуль может снимать видео в формате до 4k30.



Что касается совместимости с ОС, система может похвастаться широкой поддержкой программного обеспечения на базе Linux, включая компилятор потоков данных и библиотеку примеров глубокого обучения и приложений. Она поддерживает стандартные платформы машинного обучения, такие как Keras, TensorFlow, PyTorch и ONNX, а также дистрибутив Linux на базе Yocto.

Группа компаний «Симметрон»

www.symmetron.ru

+7 (495) 961 2020

embedded@symmetron.ru

Новый релиз среды TSDK фирмы МикроЛАБ Системс для разработки прикладного ПО систем ЦОС TORNADO-MTCA стандарта MicroTCA

Российская фирма МикроЛАБ Системс (г. Москва) выпустила релиз R6 среды TSDK разработки прикладного ПО для систем ЦОС TORNADO-MTCA (Т-МТСА) стандарта MicroTCA, который включает поддержку разработки ПО для системных модулей коммутации и управления TORNADO-MCH/iMCH (Т-МСН) в дополнение к уже существующей поддержке разработки ПО для АМС-модулей TORNADO-A.

Поддержка прикладного ПО пользователя в системных модулях Т-МСН предоставляет принципиально новые функциональные возможности для систем ЦОС Т-МТСА и позволяет пользователю программировать различные динамические и статические сценарии управления всей системой ЦОС стандарта MicroTCA в реальном времени в соответствии с требованиями заказчика, включая управление как коммутаторами самого модуля Т-МСН, так и всеми вспомогательными и АМС-модулями, установленными в системе, причём без использования дополнительных модулей. Данный функционал доступен только для системных моду-

лей коммутации и управления Т-МСН фирмы МикроЛАБ Системс, которые выгодно отличаются по архитектуре и функциональным возможностям от ближайших аналогов известных мировых производителей.

ПО пользователя запускается совместно с основным системным приложением модуля Т-МСН, обеспечивающим базовые функции управления коммутатором потоков данных реального времени, коммуникации с управляющим ПК через сети LAN/WAN, и др. с применением системного приложения «Системный менеджер» для ПК. Благодаря специальному многоуровневому API обеспечивается надёжная «изоляция» системного и прикладного ПО модуля Т-МСН, надёжное функционирование модуля и минимальные потери производительности. Новый функционал TSDK позволяет также управлять топологией изолированных подсетей (VLAN) и функциями «единого виртуального» коммутатора всех потоков передачи данных реального времени внутри системы Т-МТСА по командам от всех установленных АМС-модулей, а также управлять конфигурацией всех модулей системы с применением единого API. В число функций управления коммутатором входят мониторинг данных, зеркалирование трафика, «имплантация» пакетов в потоки данных любого «виртуального»

порта, архивирование потоков на встроенный накопитель модуля Т-МСН и др., что необходимо для построения многофункциональных модульных систем ЦОС реального времени.

Также в стандартную поддержку АМС-модулей TORNADO-A фирмы МикроЛАБ Системс в новом релизе R6 среды TSDK добавлены поддержка новых АМС-модулей, API аппаратно-программной защиты памяти FLASH и NvRAM, унифицированный API системной информации, API дистанционного IPMI-доступа к MMC-контроллеру, «доверительная» загрузка и др.

Среда ПО TSDK входит в стандартный комплект поставки всех модулей АМС и Т-МСН для систем ЦОС TORNADO-MTCA стандарта MicroTCA фирмы МикроЛАБ Системс. Множество входящих в неё примеров позволяет разработчику прикладного ПО быстро создавать конечные приложения для модулей АМС и Т-МСН и полностью сосредоточиться на решении конкретных прикладных задач, не вдаваясь в детали низкоуровневого программирования.

Фирма МикроЛАБ Системс обеспечивает пожизненную техническую поддержку и обновление среды ПО TSDK.

<http://www.mlabsys.ru>

+7 (499) 900 6208

info@mlabsys.ru

MicroLAB Systems

Комплексные Решения ЦОС

Системы ЦОС TORNADO-MTCA

Системы MicroTCA и модули AdvancedMC с ПЦОС-ARM-ПЛИС

- Телекоммуникация
- Радиомониторинг
- SDR, радиосвязь
- Радиолокация
- DPI, системы СОРМ
- Измерительные системы
- Запись РЧ-сигналов и потоков
- Интеллектуальные РЧ-джаммеры, РЭБ
- Обработка изображений и системы ИИ
- Распределенные системы ЦОС
- Промышленные и медицинские системы



TORNADO-MC/C6.1
Шасси MicroTCA
с 6-ю АМС модулями и
источником питания 650Вт

- Компактность
- Модульная архитектура
- Агрегативный трафик 1.5Tbps
- Масштабируемость
- «Горячая» замена модулей
- Изолированные подсети и трафик
- Удаленный контроль и мониторинг



TORNADO-A6678/FMC
АМС модуль ПЦОС+ПЛИС+FMC



TORNADO-AZU+/FMC+
АМС модуль ARM+ПЛИС+FMC+



TORNADO-AZ/FMC
АМС модуль ARM+ПЛИС+FMC



T/AX-DSFPX
АМС модуль SFP+ LAN/WAN



сделано в России

TORNADO-M инфраструктура MicroTCA
TORNADO-A модули AdvancedMC
TORNADO-F модули FMC/FMC+

WWW.MLABSYS.RU

ФОРМУЛА УСПЕХА

Завод «Электродеталь» сегодня – это непрерывная работа на перспективу

На сегодняшний день АО «Карачевский завод «Электродеталь» является крупнейшим разработчиком и производителем прямоугольных электрических соединителей для различных областей промышленности. Предприятие обладает современным оборудованием и технологическими процессами и применяет прогрессивные технологии в конструировании и производстве технологической оснастки, необходимыми для изготовления электрических соединителей любых видов сложности, а также следующими видами производств: механообрабатывающее производство, штамповочное производство, производство по переработке пластмасс, гальваническое производство, сборочное производство, литейное производство, инструментальное производство, термическое производство. Основным приоритетом завода является непрерывная работа над расширением линеек производимой продукции и освоением новых перспективных соединителей.



В рамках выполнения комплексного проекта «Разработка и освоение на отечественном предприятии серий прямоугольных электрических соединителей (вилки и розетки) гражданского назначения повышенной эксплуатационной надёжности для автомобильной промышленности» завод разработал прямоугольные радиочастотные соединители СП430 (аналоги ф. Molex типа Fakra 73403-5117, 73403-5112), которые работают на частотах до 6 ГГц. А также низкочастотные прямоугольные соединители СНП429 (аналоги ф. TE розетки 1379671-5, 1318389-1, контакт 0-1802189-1, вилка 1318384-2, вилка ф. IRISO IMSA-9491B-40B-TW-2), которые предназначены для подключения системы ГЛОНАСС.

Ещё одно направление работ – освоение соединителей с контактами типа Posy-Vand, обеспечивающими передачу больших токов в различных системах электроавтоматики, в частности, применяемой на железнодорожном транспорте. Это соединитель СНП432 (аналог фирмы Positronic серии РСН), который обеспечивает передачу токов до 40 А на группу контактов при относительно малых габаритах соединителя.

Таким образом, в АО «Карачевский завод «Электродеталь» ведутся работы по разработке и внедрению в производство прямоугольных соединителей по целому ряду наиболее перспективных направлений.

www.elektrodetal.com



Брянская обл., г.Карачев

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАРАЧЕВСКИЙ ЗАВОД «ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ»



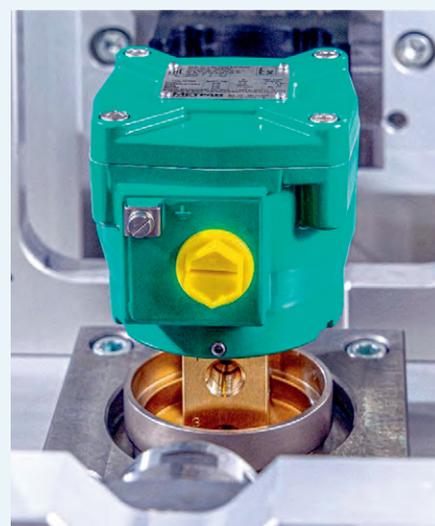
242500, Россия, Брянская обл., г.Карачев Горького ул., д.1.
Тел.: (48335) 2-61-72, e-mail: market@elektrodetal.com;
www.elektrodetal.com

Метран запустил серийное производство соленоидных клапанов серии 327 АСКО в Челябинске из российских комплектующих

Ранее в Промышленной группе «Метран» осуществлялась крупноузловая сборка соленоидных клапанов, но в 2022 году возникли трудности с поставкой комплектующих. Инженеры «Метран» провели научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, результатом которых стала квалификация и отбор производителей уплотнений, пружин, литья и проката для производства клапанов. Была создана с нуля собственная конструкторская документация, спроектирована и изготовлена оснастка для сборки из

компонентов, освоены новые технологические процессы, в том числе сварка лазером, запрессовка, гидравлические, пневматические, функциональные испытания. Расширенный производственный участок прошёл освидетельствование и получил сертификат соответствия СТО Газпром.

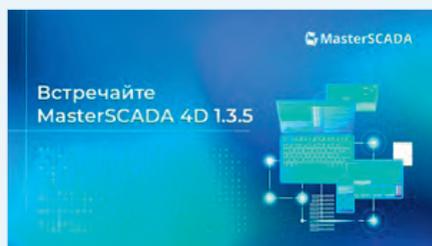
Первыми серийно выпускаемыми компанией модификациями соленоидных клапанов серии 327 АСКО стали исполнения с температурным диапазоном от -52 до $+60^{\circ}\text{C}$ и корпусами из латуни и нержавеющей стали. Продолжаются климатические и ресурсные испытания исполнения от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$. По мере завершения испытаний линейка будет расширяться новыми исполнениями, типоразмерами и принадлежностями.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Как и зачем переходить на новый релиз MasterSCADA 4D 1.3.5

Отечественная компания-разработчик «МПС софт» выпустила новый релиз платформы для автоматизации и диспетчеризации MasterSCADA 4D – 1.3.5. Пользователи предыдущих версий MasterSCADA 4D могут бесплатно обновить свои системы в рамках программы технического сопровождения (один год после покупки лицензии). Для платного обновления достаточно заказать позицию MSRT4D-Updatev.1.3.5 у дистрибьютора.



Компания ПРОСОФТ является официальным дистрибьютором программных продуктов «МПС софт». Проверить наличие плана технической поддержки, совместимость нового релиза с типами ОС и БД, а также уточнить системные требования можно через запрос на info@prosoft.ru.

В релиз 1.3.5 добавлен следующий функционал.

Среда разработки

Новый инсталлятор

Установка среды разработки MasterSCADA 4D переведена на новый инсталлятор для ОС Windows.

Проверка целостности проекта

Доработки проверки целостности проекта:

- добавлена проверка имён элементов эк-

земпляра на соответствие именам элементов библиотечного объекта;

- реализовано удаление лишних отношений к типам данных.

Исполнительная система

Поддержка БД АВАДС СА

Добавлена возможность сохранения архивов данных в БД АВАДС СА. Данная опция доступна с версии Pro.

Новый API и сборки исполнительной системы

В комплект поставки теперь включена новая версия API для разработки собственных ФБ и протоколов на языке C++.

Также в комплект поставки включены универсальные сборки исполнительной системы для процессоров ARMv7 и ARMv8.

Доработки резервирования

В службу резервирования добавлена настройка «Не переключаться в режим Master при отказе всех сетей». Если настройка включена и все указанные сети для резервирования недоступны, то узел не перейдёт в режим Master, а останется в режиме Slave.

Доработки протоколов

Протокол BacNET переведён на работу в режиме подписки, и добавлена возможность группового опроса объектов. Также добавлен протокол счётчика теплоэнергии KM-5.

В конфигураторе протокола IEC 61850 появилась функция чтения SCL-файлов.

Функциональные блоки

Добавлены ФБ ReadVarValue и WriteVarValue для чтения/записи параметра по его полному имени.

Добавлен вход DeleteNull для функции BYTE_ARRAY_TO_STRING. В ФБ READ_ARCHIVE_DATA добавлен вход WithoutCacheData.

Информационная безопасность

Реализованы группы прав для библиотечных объектов и окон.

В настройки безопасности добавлены новые свойства:

- окно с сообщением об отсутствии прав;
- запрет доступа к ОС в окне логина;
- у узлов и ролей добавлено свойство «Список разрешённых IP-адресов подключений клиентов»;
- добавлена возможность задания диапазона IP-адресов у свойства «Приоритет подключений клиентов»;
- реализовано шифрование конфигурации проекта.

Визуализация

- Добавлена поддержка сохранения retain-параметров в задаче экрана.
- В контроле «Числовой ввод» реализован контроль диапазона вводимого значения.
- В действии «Открыть адрес» добавлена возможность передачи параметров в задачу экрана открываемого проекта.
- У контроля «Выпадающий список» добавлена настройка «Горизонтальное выравнивание текста».
- У контролов «Время» и «Интервал» свойство «Только чтение» по умолчанию теперь False.
- Реализована настройка шаблона экрана «Язык исполнения» для части контролов и элементов интерфейса (окно логина, тренд, журнал).
- Добавлено действие «Открыть приложение».
- Реализовано выполнение функций JOIN_STRING и SPLIT_STRING в задаче экрана. Демонстрационные версии MasterSCADA 4D 1.3.5 доступны для скачивания на сайте masterscada.ru.

Резьбовые радиочастотные соединители для монтажа на печатные платы под углом 45 и 30 градусов

Кива Джуринский, Александр Сотников

Проанализированы конструктивные исполнения угловых радиочастотных соединителей. Рассмотрены конструкция и параметры соединителей, устанавливаемых на печатные платы под углами 45 и 30 градусов к её поверхности, созданных в 2021–2023 годах компаниями Cinch Connectivity Solutions/Johnson, Carlisle Interconnect Technologies (США), Wo-jiang Technology и Frontlynk (Тайвань). Статья написана на основе открытой доступной информации из зарубежных источников.

Конструктивные исполнения угловых радиочастотных соединителей

Угловые соединители широко применяются в разнообразных изделиях СВЧ-диапазона частот. Применение кабельного углового соединителя обеспечивает уменьшение допустимого радиуса изгиба кабеля в соединяемой с ним кабельной сборке и позволяет снизить нагрузку на кабель. Наряду с кабельными соединителями разработаны угловые коаксиально-микроволновые переходы, соединители для установки на поверхность и в отверстия печатных плат, адаптеры.

Известны угловые радиочастотные соединители трёх конструктивных исполнений [1–4].

1. Соединители с прямоугольным угловым (90°) корпусом и с центральным проводником, состоящим из двух частей, спаянных между собой (Solder Fork).

2. Соединители с прямоугольным угловым (90°) корпусом и с изогнутым внутри корпуса (радиусным) единым центральным проводником (Mitered

Body with Swept Contact, Swept Right Angle Connector).

3. Соединители с изогнутыми (радиусными) корпусом и центральным проводником внутри корпуса (Swept Body with Swept Contact, Swept Radius Angle Connector).

Схематическое изображение конструкции соединителей первого конструктивного исполнения показано на рис. 1 [2]. В качестве примера показан типичный угловой кабельный соединитель SMA типа S-121L (вилка) американской компании Radiolab [5] для заделки обжимом гибкого кабеля марок RG-174, RG-316.

Обычно в задней части таких соединителей имеется отверстие, которое обеспечивает доступ для пайки двух центральных проводников. После пайки отверстие плотно закрывают диском с прокладкой. КСВН соединителя S-121L в частотном диапазоне 0...6 ГГц менее 2, в диапазоне частот 6...12 ГГц КСВН может быть больше 2. Следует отметить, что угловые соединители и адаптеры первого конструктивного исполнения выпускают и в нашей стране. Так, например, угловой соедини-

тель SMA вилка SmRA-316 компании АО «Антекс» (Ruconnectors) (аналог соединителя S-121L) в диапазоне частот 0...12 ГГц имеет КСВН менее 1,25 [6].

Соединители второго конструктивного исполнения внешне похожи на предыдущие соединители, однако отличаются единым центральным проводником, согнутым по радиусу внутри корпуса. На рис. 2 схематически изображена конструкция этих соединителей [2], а также внешний вид кабельного (для полужёсткого кабеля 0,47 дюйма) соединителя американской компании SV Microwave № SF2912-60955 SMA вилка с прямоугольным корпусом и с изогнутым внутри корпуса (радиусным) центральным проводником [2].

По внешнему виду этот соединитель похож на предыдущий соединитель, однако отличается от него отсутствием соединения центральных проводников.

Схематическое изображение соединителей третьего конструктивного исполнения представлено на рис. 3а [2]. На рис. 3б в качестве примера показан внешний вид углового фланцевого вывода энергии SMA № 3457-1 американской компании Coaxicom [3].

Корпус вывода энергии и его внутренний проводник симметрично изогнуты по радиусу. Вывод энергии в диапазоне частот 0...18 ГГц имеет максимальный КСВН $1,05+0,01f$ (1,23 на частоте 18 ГГц) и вносимые потери $0,1\sqrt{f}$ (0,42 дБ на частоте 18 ГГц), где f – частота, ГГц.

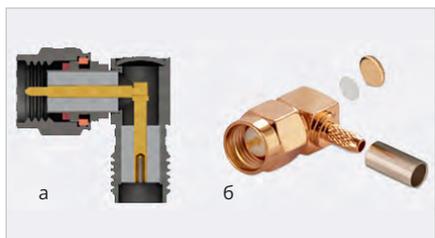


Рис. 1. Схематическое изображение соединителей первого конструктивного исполнения (а), внешний вид соединителя S-121L (б)

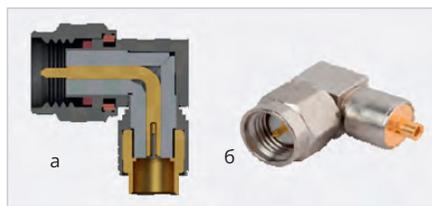


Рис. 2. Схематическое изображение угловых соединителей второго конструктивного исполнения (а), внешний вид соединителя-вилки SMA № SF2912-60955 (б)

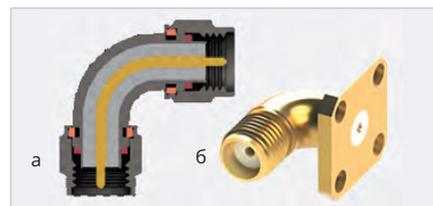


Рис. 3. Схематическое изображение угловых соединителей третьего конструктивного исполнения (а), внешний вид вывода энергии SMA № 3457-1 (б)

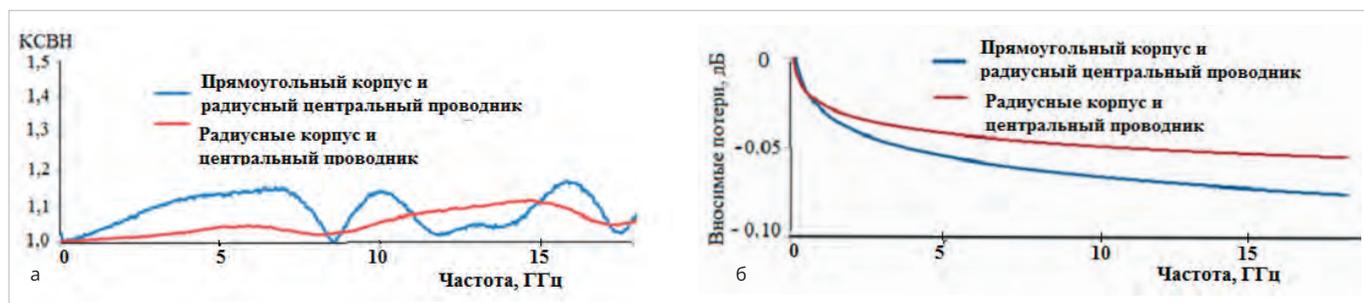


Рис. 4. КСВН и вносимые потери соединителей с прямоугольным корпусом и радиусным центральным проводником (а), с радиусными корпусом и центральным проводником (б)



Рис. 5. Соединители SMA для установки на печатные платы: прямой (а), угловой (б), концевой (в), для установки без пайки с наклоном к плате (г); 1 – угловой, 2 – прямой, 3 – концевой соединители, 4 – печатная плата

Применение радиусного центрального проводника позволяет расширить рабочий диапазон частот соединителя. Кроме того, снижается вероятность отказов в результате воздействия ударов и вибрации при работе в сложных условиях.

На рис. 4 по данным компании SV Microwave [1, 2] показаны частотные зависимости КСВН и вносимых потерь соединителей с прямоугольным корпусом и радиусным внутренним проводником, а также с радиусными корпусом и центральным проводником.

Центральный проводник, состоящий из соединённых между собой двух перпендикулярных друг другу отрезков в соединителе первого конструктивного решения, является причиной возрастания КСВН и вносимых потерь. Поэтому были разработаны угловые соединители с изогнутым (радиусным) внутренним проводником, хотя корпус оставался прямоугольным. Это позволило улучшить радиочастотные характеристики по сравнению с характеристиками соединителя первого конструктивного исполнения. В дальнейшем был создан угловой соединитель с изогнутыми (радиусными) корпусом и центральным проводником с оптимальными для угловых соединителей параметрами.

Типы угловых радиочастотных соединителей

В настоящее время известны более 55 серий радиочастотных соединителей, рабочий диапазон частот которых

начинается с частоты 3 ГГц. Общей характеристикой соединителей всех серий является наличие соединителей-вилки/розеток, а также прямая и угловая конструкции. Угловые соединители входят в состав следующих серий, различающихся по способу соединения вилки и розетки [7]:

- с резьбовым соединением: SMA, SSMA, N, TNC, SMC, SSMC, 3,5 мм, 2,92 мм и др.;
- с байонетным соединением: BNC, mini BNC и др.;
- с соединением защёлкиванием (Snap-On) разных видов: MCX, MMCX, SMB, SSMB, SMP, mini SMP и др.;
- с соединением Blind Mate («вслепую»): BMA;
- с соединением Quick Lock: QMA.

Наиболее широко применяются угловые резьбовые кабельные соединители. Угловой соединитель и был создан для применения в тех случаях, когда кабельную сборку с прямым соединителем сложно или невозможно было подключить к устройству без опасного перегиба кабеля.

На рис. 5 показаны основные типы угловых соединителей SMA, применяемых для установки на печатные платы.

Прямой и угловой соединители ограничивают высоту корпуса устройства, а концевой соединитель ограничивает ширину или длину корпуса. Это важно для устройств, которые должны иметь минимальные габаритные размеры.

Угловые соединители для монтажа без пайки на печатные платы с наклоном к плате

В ряде случаев возникает необходимость в передаче высокочастотных сигналов с участка микрополосковой линии, расположенного на некотором расстоянии от края печатной платы. Кроме того, требуются угловые соединители для соединения между платами при ограничении по высоте и ширине. Для решения этих задач были созданы соединители с наклоном к печатной плате, предназначенные для быстрого и простого монтажа в труднодоступных местах, где предпочтительна угловая конструкция соединения, а размеры платы ограничены.

Специально разработанное семейство соединителей с наклоном к плате под углом 45 и 30 градусов, устанавливаемых без пайки, с помощью винтов, было предназначено для применения в небольших корпусированных устройствах с ограниченным пространством. Эти соединители позволили обеспечить минимальный радиус изгиба кабеля в ответной кабельной сборке. Кроме того, низкие величины КСВН и вносимых потерь сделали возможным применение этих соединителей в контрольно-измерительном оборудовании, в оборудовании спутниковой связи, GPS и антеннах с фазированной решеткой, в радиолокационных системах, в оборудовании для автоматического тестирования и связи, для дистанционного мониторинга [8].



Рис. 6. Прецизионный угловой соединитель с наклоном к печатной плате

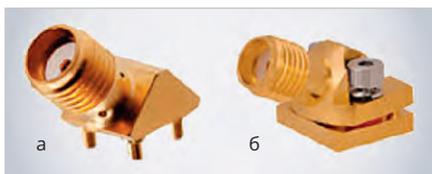


Рис. 7. Соединители SMA для установки в отверстия печатной платы (а) и для установки с помощью двух винтов (б)

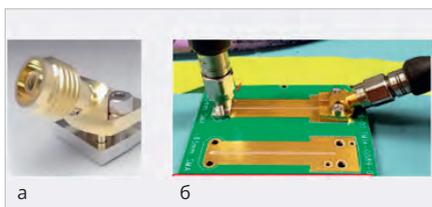


Рис. 8. Соединитель 1,85 мм компании CarlisleIT (а), его установка на печатной плате (б)

Соединители компании Cinch Connectivity Solutions/Johnson

В 2021 году компанией Cinch Connectivity Solutions/Johnson (ныне входящей в группу компаний Bel Fuse) было начато производство соединителей с углом наклона к печатной плате 45 градусов, а в 2023 году – с углом наклона 30 градусов [8]. Были созданы прецизионные соединители-розетки: 1,85 мм, 2,4 мм и 2,92 мм. В них было использовано соединение с печатной платой без пайки, с помощью двух винтов для быстрой и простой установки на плату – рис. 6 [8].

Кроме того, был разработан соединитель-розетка SMA (с наклоном к печатной плате) двух видов: для установки в отверстия печатной платы (№ 142-0711-271) и для установки на плату без пайки (№ 142-0711-281) – рис. 7 [2]. Параметры этих соединителей представлены в табл. 1.

Соединители относятся к числу изделий, заменяемых в полевых условиях (Field Replaceable). Для соединителей разных типов рабочее напряжение на уровне моря равно от 150 до 500 В, рабо-

Таблица 1. Параметры соединителей Cinch Connectivity Solutions/Johnson с углами наклона 45 и 30 градусов

Тип соединителя	Номер соединителя	Диапазон рабочих частот, ГГц	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц	Максимальная величина вносимых потерь, дБ, (на частоте, ГГц)
Соединители с углом наклона 45 градусов				
1,85 мм	148-0701-221	0...67	1,5 (0...67)	0,98 (67)
2,4 мм	147-0701-281	0...50	1,5 (0...50)	0,85 (50)
2,92 мм	145-0701-221	0...40	1,25 (0...26,5) 1,5 (26,5...40)	0,76 (40)
SMA	142-0711-281	0...26,5	1,5 (0...26,5)	0,62 (26,5)
	142-0711-271	0...18	1,5 (0...18)	–
Соединители с углом наклона 30 градусов				
1,85 мм	148-0791-301	0...67	1,35 (0...67)	0,98 (67)
2,4 мм	147-0791-301	0...50	1,3 (0...50)	0,85 (50)
2,92 мм	145-0791-301	0...40	1,3 (0...40)	0,76 (40)
SMA	142-0791-301	0...26,5	1,5 (0...26,5)	0,62 (26,5)

Таблица 2. Параметры соединителей Carlisle Interconnect Technologies с углом наклона 30 градусов

Тип соединителя	Номер соединителя	Диапазон рабочих частот, ГГц	Максимальный КСВН в диапазоне частот, ГГц	Максимальная величина вносимых потерь, дБ, на частоте f (ГГц)
1,85 мм	TM14-0089-00	0...70	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40), 1,33 (40...60), 1,50 (60...70)	≤ 0,05 √f
2,4 мм	TM14-0143-00	0...50	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40), 1,33 (40...50)	≤ 0,05 √f
2,92 мм	TM14-0141-00	0...40	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40)	≤ 0,04 √f
3,5 мм	TM14-0142-00	0...34	1,20 (0...26,5), 1,25 (26,5...40)	≤ 0,04 √f

чий диапазон температур: –55...+85°С и –65...+165°С, допустимое количество циклов соединение-рассоединение – 500.

Корпуса соединителей изготовлены из бериллиевой бронзы или латуни (для соединителей SMA) и покрыты износостойким золотом. В соединителях используются 2 изолятора, один из полимера PCTFE (термопластичный кристаллический гомополимер с диэлектрической проницаемостью 2,3...3,0) или Ultem-1000 (полиимид с диэлектрической проницаемостью 3,15...3,2), второй из PTFE (фторопласт с диэлектрической проницаемостью 2,05...2,1).

Соединители компании Carlisle Interconnect Technologies

Компания Carlisle Interconnect Technologies (CarlisleIT) разработала прецизионные соединители для установки на печатные платы под углом 30 градусов. При угле наклона 30 градусов нагрузка на кабель кабельной сборки сводится к минимуму, что продле-

вает срок службы и надёжность кабеля. Разработана линейка соединителей: 1,85 мм, 2,4 мм, 2,92 мм и 3,5 мм, параметры которых представлены в табл. 2.

Корпуса соединителей компании CarlisleIT изготовлены из бериллиевой бронзы и покрыты золотом. В конструкцию соединителей входят 2 изолятора: первый в виде шайбы с 6 отверстиями из полимера PTFE, второй – из органического термопластичного полимера PEEK с диэлектрической проницаемостью около 3,0. Типичный диапазон рабочих температур для данной линейки соединителей составляет: –40...+85°С.

Внешний вид соединителя 1,85 мм компании CarlisleIT и его установка на печатную плату показаны на рис. 8 [14].

Предельная частота соединителей 1,85 мм – 70 ГГц, КСВН не превышает 1,5, вносимые потери сведены к минимуму: 0,41 дБ в диапазоне частот 60...70 ГГц.

Компания CarlisleIT предлагает оптимизированные схемы расположения плат и контуры печатных плат угловых соединителей для достижения целост-

ности сигнала. Также предлагается оценочная плата с прецизионными радиочастотными, соединителями, позволяющая измерять целостность сигнала, включая S-параметрические данные для сигналов, проходящих по длине платы 1 дюйм.

Соединители тайваньских компаний

Компания Bo-Jiang technology разработала соединитель-розетку 1,85 мм с углом наклона к плате 30 градусов № 3366LR502SQ000B [15]. Соединитель крепится на плату двумя винтами без пайки. Предельная частота соединителя 67 ГГц.

Аналогичный соединитель FL33J6-LR502SQA00 создан также компанией Frontlynk [16]. Внешний вид соединителей 1,85 мм компании Frontlynk, установленных на печатную плату, показан на рис. 9 [15].

Заключение

Данная статья не претендует на исчерпывающую полноту, так как многие зарубежные источники в настоящее время недоступны. Несмотря на это, информация, представленная в статье, может быть полезна прежде всего разработчикам миниатюрных СВЧ-устройств, в кото-

рых соединения выполнены с помощью кабельных сборок, а также специалистам в области измерительной техники.

Литература

1. How well do Right Angle RF Connectors Work? SV Microwave. URL: <https://www.svmicrowave.com>.
2. Right Angle SMA Solution. SV Microwave. URL: <https://www.svmicrowave.com>.
3. SMA Swept Right Angle Receptacles and Adapters. Coaxicom. URL: <https://coaxicom.com/specifications/sma-swept-radius-right-angle-specifications/>.
4. SMA Series Subminiature RF Connectors Radiall. URL: <https://www.radiall.com>.
5. Разъём S-121L SMA (male) RG-174, RG-316 угловой. URL: <https://www.mic.ru>.
6. АО «Антекс». URL: <http://ruconnectors.ru>.
7. Джуринский К.Б. Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. М.: Ваш Формат, 2018. 400 с.
8. Angled Precision RF Coax Connectors. URL: www.belfuse.com/cinch.
9. Connector Tips Angled, 30-degree RF connectors boast high-frequency. URL: <https://www.connectortips.com>.
10. 2,92 mm 45 Degree PCB Mount. Connector Signal Integrity, June 2020.
11. RF connector line expands. Engineer Live News Desk. 11th August 2023.
12. Cinch Connectivity Solutions Extends RF Connector Line with New mm Wave Angled 30-degree Product Family. August 09, 2023. URL: <https://www.belfuse.com/cinch>.
13. Cinch expands RF connector line. Electronic Products. 2023. URL: <https://www.electronicproducts.com>.
14. Carlisle Interconnect Technologies. URL: <https://www.carlisleit.com>.
15. 1.85 mm Angled Solderless PCB SMD JACK. URL: <https://www.bojiang.com.tw>.
16. 1.85 mm Angled Solderless PCB SMD JACK - 67GHz. URL: <https://www.frontlynk.com.tw>.

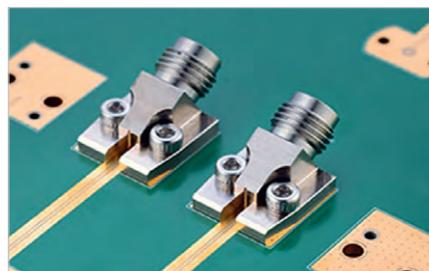


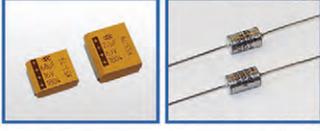
Рис. 9. Соединители 1,85 мм компании Frontlynk, установленные на печатной плате





**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЭЛЕКОНД**

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

<p>Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>3,2 ... 485 1,0 ... 470 000 -60 ... 125</p>	
<p>Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>3,2 ... 200 1,5 ... 60 000 -60 ... 175</p>	
<p>Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>2,5 ... 63 0,033 ... 2 200 -60 ... 175</p>	
<p>Суперконденсаторы K58-... Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, Диапазон температур среды и эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>2,5 ... 2,7 1,0 ... 4 700 -60 ... 65</p>	
<p>Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °С</p>	<p>5,0 ... 48 0,08 ... 783 -60 ... 65</p>	

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



Реклама

Нетрадиционные источники энергии MFC и электропитания РЭА из биосреды. Инновационная разработка

Анти Эс

Перспективные и конкурентные разработки в области современной электроники связаны с расширением возможностей преобразования энергии естественной среды, динамично меняющейся по биохимическим свойствам, в электрический ток с созданием альтернативных традиционным и возобновляемым источников питания. В статье рассматривается разработка инновационных источников тока на основе биохимической реакции – биоразлагаемых «микробных топливных элементов» МТЭ (Microbial fuel cell – MFC) как новой технологии природных экологических электронных систем.

MFC – это тип биоэлектрохимической системы топливных элементов, также известный как микротопливный элемент, генерирующий электрический ток путём отвода электронов, образующихся в результате микробного окисления восстановленных соединений (также известных как топливо или донор электронов) на аноде, к окисленным соединениям на катоде через внешнюю электрическую цепь. С ростом количества устройств в системе Интернета вещей (IoT) уже невозможно игнорировать потенциал развития сопутствующих устройств РЭА, таких как датчики и элементы питания, а также нельзя не видеть проблемы, связанные с использованием традиционных источников питания для РЭА, прежде всего их громоздкость, токсичность составляющих материалов и сложности утилизации. Но возможно использовать

доступные биотехнологии и инновационные средства получения электроэнергии, её усиления и преобразования буквально из всего, в том числе из почвы и взаимодействующих в ней с помощью биохимических реакций микроорганизмов, вплоть до мельчайших бактерий. Снабжать полученной таким образом электроэнергией города и веси пока не получится – мощность биоэлементов крайне мала. Зато велики перспективы в разработке генераторов MFC для преобразования малой энергии в маломощных электронных устройствах, решениях и приложениях.

Потенциальная польза биоэлектрогенераторов

Обозримое будущее связывают с триллионами действующих повсеместно на возобновляемых источниках электроэнергии электронных устройств, в том числе в системах IoT. Традиционные элементы питания на основе лития, тяжёлых металлов и токсинов, опасных для человека и окружающей среды, постепенно уходят в прошлое. Кроме того, проблема их утилизации стоит довольно остро. В то же время открыты альтернативы, которые смогут обеспечивать электроэнергию для автономного и практически неиссякаемого питания устройств РЭА, а также в перспективе создания децентрализованной сети автономных электронных устройств с автономным и «беспроводным» питанием для каждого из них.

Действие инновационных топливных элементов, получающих энергию непосредственно из почвы (грунта), основано на биохимической реакции разных типов – от продуктов естественной (натуральной) природной деятельности земляных червей и биоразлагаемых отходов до грибков (плесени). Пока речь идёт только о малых значениях тока и напряжения, однако такие источники тока можно усовершенствовать с помощью электронных преобразователей. Тем не менее в уже имеющихся биоразлагаемых источниках электроэнергии ток в значении нескольких миллиампер уже достаточен для питания маломощных электронных датчиков и микромодулей РЭА, в том числе снабжённых микромощными беспроводными передатчиками для трансляции электропитания к другим устройствам и организации канала передачи аналоговых и цифровых данных от датчика к электронному контроллеру.

Разное назначение контроллеров и в целом систем РЭА в данной области охватывает практически любые сферы их возможного применения человеком. Кроме того, абсолютно ожидаемо, что в дальнейшем мощность подобных биогенераторов электроэнергии будет расти. Пока в почве есть органический углерод и расщепляющие микроорганизмы, топливный элемент потенциально может работать вечно.

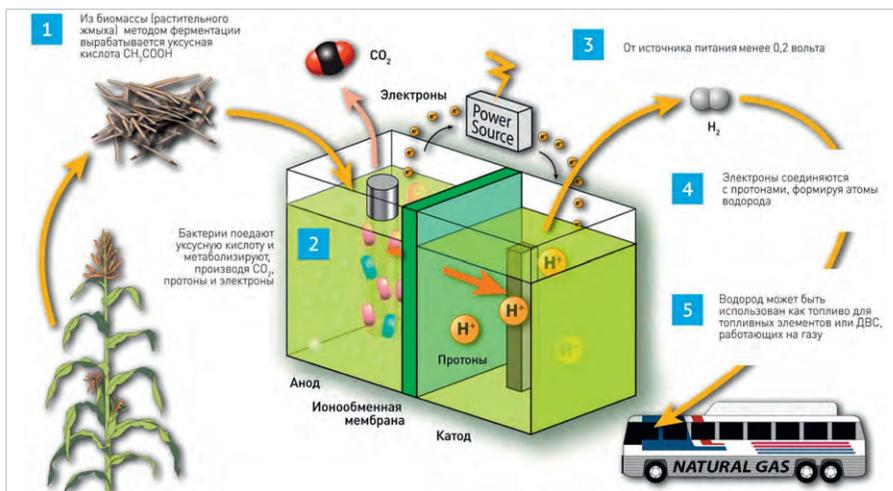


Рис. 1. Схема водородной газовой установки



Рис. 2. Автомобиль с газогенераторной установкой

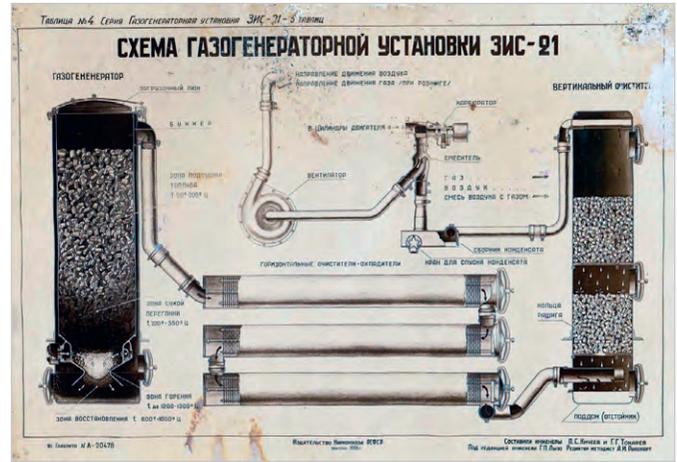


Рис. 3. Схема газогенераторной установки ЗИС-21

Из истории био- и электрогенераторов

Из практического применения в истории довольно известны двигатели на основе биоматериалов или водородные двигатели, работающие на выделяемом горючем газе. На рис. 1 представлена схема водородной газовой установки. Эта иллюстрация поможет понять перспективы биохимических реакций под воздействием электрического тока. Устройство, согласно схеме, работает так.

Из биомассы растительного происхождения (жмыха) способом ферментации вырабатывается уксусная кислота, имеющая химическую формулу CH_3COOH . Затем в специальном резервуаре «бактерии» осваивают уксусную кислоту и метаболизируют её, производя газ CO_2 . Под воздействием небольшого приложенного напряжения электроны взаимодействуют с протонами, формируя атомы водорода, который используется как горючее для топливных элементов – топливо для ДВС, работающих на газу. Однако не стоит путать данные установки с двигателями, вырабатывающими горючий газ «на дровах». По основному принципу выработки газа CO_2 работали автомобильные двигатели как прошлых лет (XX век), так и в некоторых случаях теперь, когда их применяют «любители». На рис. 2 показан автомобиль с выработкой горючего газа в котлах, где в качестве топлива использовались дрова. В условиях Крайнего Севера такие и грузовые, и легковые машины были незаменимы. Создавались подобные установки по всему миру. В Германии известна модель легковой автомашины Volkswagen Type82 (Kuberwagen и др.), в России – газогенератор конструкции профессора

Наумова устанавливали на грузовые автомобили как отечественных марок ГАЗ-М1, ГАЗ-42, ЗИС-152 (и др.), а позже и НАМИ-012 (и др. испытательные средства, не пошедшие в серию), так и на грузовые автомобили, в том числе итальянский FIAT. Такой FIAT участвовал в автопробеге по маршруту Москва–Ленинград–Москва в 1928 году. В 1931 году автопробеги с участием «дровяных колёсных транспортных средств» проходили по маршруту Ленинград–Череповец, а были в другие годы и более дальние «командировки» – от Ленинграда через Минск и Киев, Москву до Омска и обратно. Представьте себе, сколько леса надо было спалить... Сегодня воспоминания об этом можно найти в том числе в мемуарах старожилов, в частности в [1]. В целом страна жила этим видом транспорта наравне с использованием двигателей на бензине и дизельном топливе. Лишь в середине 60-х годов, а то и позже, полностью отказались от таких автомобильных анахронизмов эпохи несмотря на то, что и они имели некоторые преимущества. К примеру, в наше турбулентное время, когда типичные варианты топлива на основе нефтепереработки регулярно повышаются в цене, для кого-то самое время вспомнить о пахучих и чадящих генераторах CO_2 , реализованных на принципе сжигания дров. Для сведения заинтересованных лиц схема газогенераторной установки ЗИС-21 представлена на рис. 3.

Кстати, определение топливных элементов, производных реакции микробов и бактерий, впервые оформилось ещё в 1911 году. Прототипом служили «микробные топливные элементы», от них и состоялись аббревиатуры, используемые нашими современни-

ками в XXI веке, – МТЭ (МFC). Элементы функционируют как гальваническая батарея – с анодом, катодом и электролитом. Однако вместо того, чтобы использовать химические вещества для выработки электроэнергии, каких примеров в современной электронике в разные годы мы знаем немало, инновационные устройства МFC преобразуют электроэнергию из бактерий, которые, взаимодействуя, питаются и затем разлагаясь под влиянием даже слабого уровня кислорода, естественным образом производят движение электронов между близлежащими проводниками, помещёнными в среду. Когда электроны перетекают от анода к катоду, между электродами возникает разница потенциалов, и по известным физическим законам создаётся ЭДС, соответственно открывается возможность создавать электрическую цепь. Но для того чтобы микробные топливные элементы работали без сбоев, они должны оставаться гидратированными и насыщенными кислородом, что сложно, если просто их «закопать» под землёй или погрузить в ил водоёма, – необходимо обеспечить приток воздуха (в его составе кислород) для химической реакции разложения микроэлементов.

Хотя концепция МFC существует более века, ненадёжная работа прототипов и несовершенство технологии не позволяли совершить прорывных открытий в этой области. Кроме того, условно низкая выходная мощность устройств и биоэлектрогенераторов малых форм нивелировали усилия по их практическому использованию, особенно в условиях низкой влажности. Ранее не было широких возможностей в области материалов, не было приборов и устройств РЭА, позволяющих фиксировать даже



Рис. 4. MFC для грунтов и ила, насыщенных микроэлементами со свойствами биоразложения

незначительную силу тока и разность потенциалов в разных средах, не было возможности передавать энергию на расстоянии беспроводным способом. Все эти и некоторые другие факторы притормаживали развитие известных теперь технологий. Так, со временем изменилась концепция практичного и надёжного MFC для грунтов и ила, насыщенных микроэлементами со свойствами биоразложения (рис. 4). Испытания проводились на болоте, в чистой воде (реакция микроорганизмов в донном иле с притоком воздуха, обеспечиваемым устройством), в песчаной почве, в грунте с разными значениями влажности и с разным химическим составом, а также в компосте со сроком хранения более двух лет. Результаты экспериментов в открытом доступе не опубликованы, однако активно используются разработчиками технологии.

Технические подробности разработки

Команда исследователей Северо-западного университета (Northwestern University, г. Эванстон, шт. Иллинойс, США) в январе 2024 года презентовала результаты исследований в качестве источника питания нового элемента, основанного на преобразовании энергии – продукта естественной деятельности микроорганизмов, обитающих в почве [5–8]. Говоря упрощённо, это новый топливный элемент, собирающий энергию из микробов, живущих в грязи. К настоящему времени по состоянию на апрель 2024 года успешные испытания прошли уже три версии таких источников электропитания для маломощной РЭА (рис. 5). Новый топливный элемент представляет альтернативу традиционным батареям, содержащим вредные и опасные хими-

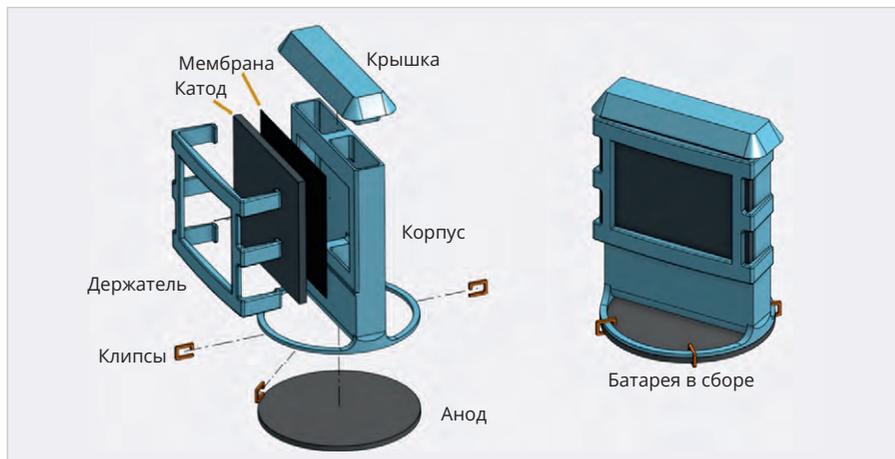


Рис. 5. Конструкция источников электропитания для маломощной РЭА

ческие вещества, загрязняющие почву, и способствующим проблеме электронных отходов. Согласно пресс-релизу исследователей, прототип биоэлектрогенератора продемонстрировал неожиданно выдающуюся эффективность как во влажных, так и в «сухих» условиях. В среднем полученный топливный элемент генерировал в 68 раз больше энергии, чем необходимо для работы электронных датчиков, диагностирующих (считывающих) его изменяемые техпроцессы (состояние). Корпус элемента достаточно прочный, чтобы выдерживать значительные изменения влажности почвы — от условно сухой (41% влажности) до погружённой в воду [6].

Помимо эмпирически доказанных возможностей питания электронных датчиков микроформата, контролирующих влажность почвы, исследователи успешно использовали новый топливный элемент как сенсор, реагирующий на прикосновения, что может оказаться перспективно незаменимой разработкой для отслеживания движения животных. Для обеспечения беспроводной связи установлена миниатюрная антенна, передающая данные на базовую станцию-микроконтроллер.

На рис. 6 представлен внешний вид конструкции, созданной в лабораторных условиях, а на рис. 7 – вид генератора MFC, извлечённого непосредственно из почвы после проведения испытаний. Чтобы протестировать новый топливный элемент, исследователи использовали его для питания датчиков, измеряющих влажность почвы и обнаруживающих прикосновение. Это может быть полезно для отслеживания животных, в том числе в аргументации, рассмотренной выше, – для пользы фермеров и в целом сотрудников АПК. Чтобы обе-

спечить беспроводную связь, исследователи оснастили электронный датчик с питанием от этого биогенератора антенной для передачи данных на контроллер в 20 метрах от датчика путём отражения радиочастотных сигналов. В результате эксперимента удалось добиться мощности топливного электрического элемента, превосходящей аналогичные, созданные по условиям устаревшей технологии, на 120% [7]. Исследование, опубликованное в журналах «Proceedings of the Association for Computing Machinery on Interactive», «Mobile», «Wearable and Ubiquitous Technologies», не только представляет новейшие технологические достижения, но также связано с концепцией химической технологии, названной «числом Дамкелера». Это мера скорости протекания химических реакций по сравнению со скоростью, с которой исходный материал транспортируется к месту реакции [9].

На рис. 8 – ведущий исследователь Билл Йен в лаборатории университета Northwestern. Любопытно, что такковы результаты работы «всего лишь» недавнего выпускника университета, а исследования проводились под научным руководством доцента кафедры гражданского и экологического строительства, доктора Джорджа Уэллса. Он же обладатель патента США (2011) «Микробное производство закиси азота в сочетании с химической реакцией газообразной закиси азота».

Состав и принцип действия инновационного MFC

Свойства грунта в разных местах неодинаковы, однако именно почва является верхним слоем земной коры, состоящим из различных минералов, частиц органической материи,

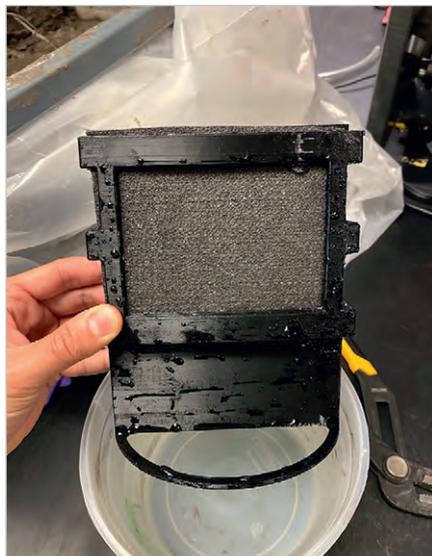


Рис. 6. Внешний вид конструкции, созданной в лабораторных условиях



Рис. 7. Вид генератора MFC после проведения испытаний

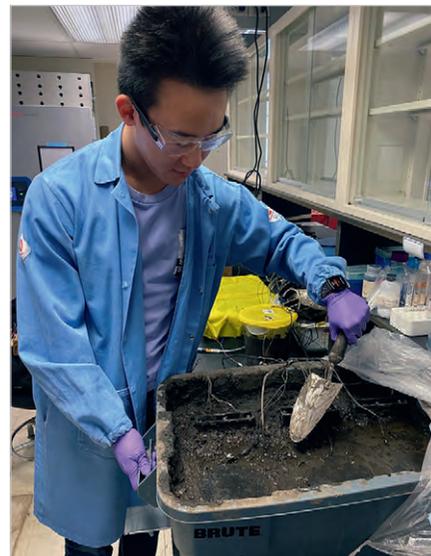


Рис. 8. Билл Йен в лаборатории университета Northwestern

Таблица 1. Некоторые зафиксированные значения тока и напряжения в разном составе грунтов

Параметры и условия среды	Выходной ток, мкА, макс	Напряжение на электродах, мкВ
Погружение на 20 см, сельхозугодия, измерение после 2 часов обильного дождя	291	400
Погружение на 20 см, в тех же условиях через 10 часов после окончания дождя	345	924
Погружение на 20 см, речной песок	15	120
Погружение на 10 см, мох на болоте	870	2700
Погружение на 15 см, компост 10-дневного отстоя	1500	14 650
Погружение на 15 см, компост (навоз) двухлетней давности	Около 1000	9200



Рис. 9. Элемент питания в земле

пор, заполненных воздухом и водой. Это органический, животный и растительный субстрат, где происходят биохимические процессы, необходимые для флоры.

Один из разработанных недавно прототипов MFC показал хорошие результаты как в засушливых, так и в заболоченных условиях. Вместо использования традиционной конструкции, в которой анод и катод расположены параллельно друг другу, в топливном элементе для относительно засушливых грунтов (малой влажности) использовали перпендикулярную конструкцию расположения электродов. Конструктивный состав устройства показан на рис. 5. Анод, сделанный из углеродного волокна, расположен горизонтально по отношению к поверхности земли. Катод, изготовленный из инертного проводящего металла, расположен вертикально над анодом. Нижняя часть катода остаётся глубоко в грунте на расстоянии до 60 см под поверхностью земли, в увлажнённых слоях почвы. Это особенно актуально для грунтов и усло-

вий с относительно небольшой влажностью и климата с большой годовой солнечной активностью, естественным образом иссушающей почвы. Если говорить о болотистых местах и в целом о среде с относительно большой влажностью, глубина погружения устройства не является принципиальной, достаточно нескольких сантиметров, кроме случаев, когда нужно преобразовать электроэнергию из микроорганизмов, обитающих в донном иле.

Часть катода обработана гидроизоляционным материалом, чтобы обеспечить приток кислорода (воздуха) во время неконтролируемого или принудительного погружения устройства, к примеру, актуального в условиях большой ветреной активности (волн, если устройство используется на болоте) или наводнения – в иных условиях применения в водной среде (другой электрод – в донном иле). Такая вертикальная конструкция после возможного подтопления среды позволяет катоду высушиться постепенно, а не сразу. Тем самым обеспечивается более долговременное пре-

образование электроэнергии. Несмотря на то, что устройство полностью находится в земле, верхний вывод – проводящий ток контакт вертикальной конструкции находится на одном уровне с поверхностью земли. Крышка биогенератора, напечатанная на 3D-принтере, лежит на верхней части устройства и предотвращает попадание частиц пыли и осадков (рис. 9). Отверстие сверху и пустая воздушная камера, расположенная рядом с катодом, обеспечивают постоянный поток воздуха. Так в естественных условиях выглядит погружённый в грунт элемент биоэлектрогенератора. При установке в почву нескольких систем MFC, а также при погружении их на разную глубину, при разных, в том числе намеренных, увлажнениях и изменениях состава почвы, биогенераторы дают разный ток и напряжение.

В табл. 1 представлены некоторые зафиксированные значения тока и напряжения в грунтах разного состава.

Данные в таблице зафиксированы точно, но представлены в сравнительно-иллюстративной форме, поскольку в реальности зависят от многих факторов биохимического состава почв (к примеру, количество микроорганизмов наиболее велико там, где есть и более развитые организмы – черви и др.), температуры почвы и воздуха, времени года, времени суток, влажности, плотности почвы, глубины погружения и многих др. факторов. Но даже из такого неинформативного представления легко видеть, что почва может использоваться в качестве источника электроэнергии, а выходные значения тока и напряжения изменчивы в зависимости от состояния среды [2–4]. Также в исследованиях найдено подтверждение гипотезы о том, что скорость перемещения микроорганизмов в естественной среде (она зависит от их количества и скорости размножения) влияет на мощность источника тока MFC (при увеличении скорости движения микроорганизмов повышается значение тока источника); таково ещё одно открытие, описанное в [6].

Ограничения и возможности

Ограничения можно обозначить в свойствах самой среды, к примеру, эффективное и результативное функционирование рассматриваемых биоэнергетических устройств возможно в зависимости от климатических особенностей местности (среды) при относительно высокой положительной температуре. Технические характеристики биоразлагаемых источников электроэнергии также зависят от влажности, плотности и показателя рН среды (грунта), её биохимического состава, микроэлементов, насыщения калием, азотом и др. В условиях «вечной мерзлоты», климата с отрицательными температурами, к примеру, в Арктике или Гренландии такие системы малоэффективны из-за известных замедленных реакций взаимодействия микроорганизмов в условиях замораживания. То же касается относительно сухих сред, таких как пустыни, районы с динамично меняющимися формами и ландшафтами грунта на примере зыбучих песков в Мексике и других возможных районах. Загрязнённые почвы, такие как места консолидации мягких, жидких и твёрдых бытовых отходов (ТБО), химических отходов производства, засорённые

кислотами, пластиком, иными компонентами и компонентами, сливом моторных масел (и др.), после которых почва восстанавливается и насыщается микроорганизмами инертно – сотни лет, разумеется, мало пригодны для рассматриваемых биоэнергетических генераторов энергии. Однако и в таких сложных и загрязнённых человеком условиях есть интересное направление для развития инженерной мысли: датчики и источники энергии на основе биоэнергетических генераторов могут являться маркерами состояния среды – нет микроорганизмов, значит, среда загрязнена, соответственно – «удельный вес» или условное количество микроорганизмов в среде оказывает определённое влияние на выходные характеристики биоэнергетических устройств (ток и напряжение), являющихся тестером или мерой загрязнённости среды. Результат может оцениваться электронными контроллерами по выработанной шкале диагностики с использованием цифровых и аналоговых данных от таких источников тока, помещённых в конкретную среду для диагностики её состояния.

Тем не менее в типичных условиях большей части территорий суши в мире, в том числе в большинстве климатических зон в нашей стране, рассматриваемые биоэнергетические технологии вполне доступны и перспективны, в том числе в сфере очистных сооружений – контроля свойств среды с помощью автономного питания от биоразлагаемых элементов и датчиков, при диагностике и биологической очистке сточных вод.

Польза инновации для АПК

Агропромышленный комплекс – ещё одна сфера, где потенциальная польза применения биоэнергетических устройств и в целом датчиков среды традиционно востребована. В XXI веке фермеры почти всех стран мира получают дотации и субсидии из бюджета, однако в разных странах технологии развиты и внедряются неодинаково. К примеру, в Германии и Финляндии (как и в др. странах) источниками возобновляемой электроэнергии ветрогенераторами и солнечными модулями обеспечено более 60% «запросов» всех потребителей, включая производственные мощности, и в том же сегменте 80% от всех частных хозяйств имеют (и уже более 20 лет) подобные установки с обеспечением соответствующей РЭА – пре-

образователями и генераторами. Эти данные подтверждаются непосредственно авторскими наблюдениями в соответствующих странах. Применяют экологичный и «адресный» дифференцированный подход в земледелии, в том числе высокоэффективные стратегии повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Технический подход основан на наличии современной РЭА для точного измерения уровней влаги, уровня питательных и загрязняющих веществ в почве для принятия решений о стратегии удобрения, в которой в основном рассчитывают на органические вещества, улучшающие здоровье сельскохозяйственных культур. Это удаётся благодаря активному использованию современной электроники для непрерывного сбора данных об окружающей среде. То же справедливо в области сохранения животного мира (флоры и фауны) и регулирования охоты, в том числе промысловой. В этой сфере электронными устройствами оборудованы (примерно с 2003 года) многие хозяйства в Европе, а также линии ограждения для безопасности людей и животных вдоль автомобильных трасс и железных дорог с отдельными участками для свободной миграции. Так оборудованы в Финляндии не только заповедники, а территории почти повсеместно; по сути, вся страна тысячи озёр, кроме агломераций и городов, – один сплошной заповедник с реализуемым принципом заботы о природе, заложенным в сознании почти каждого гражданина. Эти «линии» для безопасности животных, несмотря на огромную протяжённость, электрифицированы, снабжены не только датчиками движения и устройствами звуковой и насыщенной (яркой) световой сигнализации, срабатывающими при приближении и контакте с животными – при попытках преодолеть линии ограждения, но и электронными устройствами инфразвукового «отпугивания». Всё это стало возможным благодаря систематическим исследованиям природы и её свойств.

Но даже в хозяйствах с развитой инфраструктурой, если требуется разместить электронный датчик в условиях «дикой природы», на ферме или в заболоченной местности, придётся обеспечить электропитание – батарею или использовать энергию солнца, воды, ветра. При этом известно, что солнечные панели и модули

неэффективно работают в загрязнённой среде, когда рабочие поверхности элементов PSE покрываются со временем пылью и грязью, в условиях осадков (снега), когда нет солнца, и при этом такие конструкции обязательно снабжены накопительными АКБ и занимают условно много места. Типичные АКБ также представляют проблему, они требуют перезаряда, регламентных работ, контроля и безопасной утилизации. Фермеры имеют не по 6 соток огорода, а возделываемые площади в десятки и сотни га. Обойти большой по площади участок, чтобы заменить батареи или проконтролировать установку – преобразователь солнечной энергии, очищать солнечные панели от пыли и осадков, крайне неудобно.

Поэтому сравнительно лучшим решением в АПК является комплекс мер по производству и преобразованию электроэнергии, в том числе «сбор» электроэнергии непосредственно из того, что «под ногами», из почвы и заболоченной местности. Пока в почве и иной среде, насыщенной микроорганизмами, есть органический углерод и микроорганизмы, топливный элемент MFC потенциально может работать вечно.

Выводы и перспективы

Выводы и перспективы условно можно разделить на четыре важных направления.

Растущий спрос на микроощные датчики для электронных устройств ведёт к зависимости от экологических преимуществ и универсального применения новейших АКБ и в целом источников питания, даже маломощных. Перспективы развития рассмотренных источников питания на основе MFC связаны с их доступностью и отчасти универсальностью. Поскольку микробы, бактерии и в целом микроорганизмы окружают нас повсюду, дальнейшие разработки связаны с конкуренцией технологий и представляются важным экономическим фактором (выгодой). В статье мы лишь приоткрыли «завесу тайны» и показали направление, чтобы отечественные разработчики РЭА могли использовать и развивать результаты исследования. «Грунтовый» биоэлектронный источник питания – альтернатива батареям и АКБ, содержащим токсичные, легко воспламеняющиеся химические вещества, которые плохо утилизируются, частично проникают в землю, не раз-

лагаясь в ней, а загрязняя её, зависят от технических, материальных и логистических возможностей поставок и способствуют постоянно растущей проблеме электронных отходов. Альтернатива почти для всех сфер и процессов, происходящих на земле.

Дальнейшие перспективы исследований учёных видны в том, чтобы разработать полностью биоразлагаемый источник тока MFC, но не по аналогии биоразлагаемых (проглатываемых) источников питания, применяемых в медицинской электронной технике, а на основе компонентов грунта и содержащихся в нём минералов [6]. Кроме того, из перспективных направлений исследований известно о создании контейнеризованных автономных ячеек источников питания с высокой плотностью энергии на основе синергетических эффектов. Интересно, что с растущей потребностью в повышенной плотности энергии в современных аккумуляторных системах (для уменьшения форм-фактора) кремниевые (Si) материалы высокой ёмкости представляют потенциальную альтернативу решениям актуальных задач разработчиков РЭА из-за их превосходной теоретической ёмкости (3579 мА/ч/г^{-1}) и низкого рабочего напряжения, менее 100 мВ (даже в сравнении с материалами группы лития). Вторым фактором – доступность. Все компоненты для источника питания MFC можно найти буквально «под ногами», а конструктивные элементы корпуса и материалы получить на производстве или даже приобрести в торговой сети.

Третий фактор развития технологии – инновационные способы диагностики и контроля загрязнения почвы. Среди передовых технологий, играющих ключевую роль в сохранении планеты, выделяются фито- и биоремедиация, нанотехнологии, геоинженерия и создание локальных экологических систем. Автономные природные источники питания MFC и электронные датчики, взаимодействующие с ними, помогут этим процессам. В-четвёртых, с помощью технологии MFC представляется уместным тестировать эффективность добычи металлов с использованием микробов (биомайнинг). Известно, что даже камни разрушаются не только из-за погодных условий, влажности или направленного действия капель (к примеру, дождевых), но и микроорганизмами. Учёные протести-

вали это, используя бактерии для извлечения металлов меди и золота из горных пород. Это безопаснее для окружающей среды, чем воздействие на камни токсичным химическим веществом – цианидом. Поэтому добыча редкоземельных элементов и ценных металлов может быть сопряжена с дальнейшим изучением проблематики и широких возможностей применения биоэлектрогенераторов с получением энергии из среды деятельности микроорганизмов.

Электрический ток, получаемый как производная деятельности микроорганизмов в естественной и, особенно, неестественной для них среде, – одна из определяющих науку будущего концепций. В этом смысле проводится много смежных исследований, все они так или иначе связаны с современной электроникой.

Литература

1. Дионисиади А. Из турецкого огня в «сталинское полемя». URL: <https://www.mio.com.gr/en/publikatsii/eksklyuziv/ispoved-pokayanie-i-zavet-potomkam>.
2. Кашкаров А.П. Отходы – в доходы: правила и проекты безубыточного хозяйствования. М.: ДМК-Пресс, 2012. 152 с.
3. Кашкаров А.П. Современные био-, бензо- и дизель-генераторы. М.: ДМК-Пресс, 2011. 136 с.
4. Кашкаров А.П. Экологически чистые продукты на вашем участке. Практическая биодинамика. М.: Аквариум, 2012. 96 с.
5. Представлен новый топливный элемент, извлекающий энергию из живых организмов в почве. URL: <https://www.cta.ru/news/cta/178262.html>.
6. Dirt-powered fuel cell runs forever. URL: <https://news.northwestern.edu/stories/2024/01/dirt-powered-fuel-cell-runs-forever/>.
7. Flaherty N. Indium anode enables five minute battery charging. URL: <https://www.eenewseurope.com/en/this-battery-is-doing-a-beautiful-dirty-job/>.
8. Flaherty N. Indium anode enables five minute battery charging. URL: <https://www.eenewseurope.com/en/indium-anode-enables-five-minute-battery-charging/>.
9. Minjun J., Hye B.S., et al. Formulating Electron Beam-Induced Covalent Linkages for Stable and High-Energy-Density Silicon Microparticle Anode. URL: <https://www.qualenergia.it/pro/documenti/formulating-electron-beam-induced-covalent-linkages-for-stable-and-high-energy-density-silicon-microparticle-anode/>.



Применение программируемого реле для задач управления шаговым двигателем

Сергей Шишкин

В статье представлены технические решения с применением программируемого реле ПР205 и блоков управления серии SMSD-LAN для задач управления шаговым двигателем.

Как правило, для управления шаговыми двигателями применяют готовые решения. Такими решениями могут быть контроллеры шаговых двигателей (далее КШД) или драйверы шаговых двигателей. На отечественном рынке представлены несколько десятков различных типов КШД.

Стало де-факто нормой, что в КШД имеются следующие режимы работ:

- ручной режим;
- режим драйвера;
- режим контроллера (исполнение программы, записанной в КШД);
- режим исполнения программы по последовательному порту (сетевому интерфейсу).

Рассмотрим случай, когда оператору необходимо с технологического пульта

управлять КШД, к которому подключён ШД. В качестве технологического пульта можно применить готовое решение – программируемое реле или программируемый логический контроллер ПЛК. По сути, задача сводится к разработке специального программного обеспечения (СПО) для составных частей изделия.

Приведённые ниже примеры выполнены на базе программируемого реле OWEN ПР205-24.1211.02.2.0 (далее – ПР205) и программируемого блока управления шаговыми двигателями серии SMSD-LAN (фактически это контроллер шагового двигателя). Вышеуказанное наименование для SMSD-LAN приведено в эксплуатационной документации. На рынке представлены две модификации: SMSD-4.2 LAN и SMSD-8.0 LAN.

ПР205 предназначено для построения простых автоматизированных систем управления технологическим оборудованием и программируется в среде Owen Logic на языке FBD. Последние версии среды Owen Logic позволяют реализовать функции и макросы на языке ST.

Пользовательская программа записывается в энергонезависимую Flash-память прибора.

Прибор поддерживает следующие функции:

- работа по программе, записанной в память;
- отображение данных и мнемосхем на графическом цветном экране;
- ввод и редактирование данных с помощью кнопок на лицевой панели;
- работа в сети RS-485 по протоколам Modbus RTU / Modbus ASCII в режиме Master или Slave;
- работа в сети Ethernet по протоколу Modbus TCP в режиме Slave;
- работа с удалённым сервисом Owen Cloud без дополнительного шлюза;
- обработка входных сигналов от датчиков;
- управление подключёнными устройствами с помощью дискретных или аналоговых сигналов.

Для увеличения количества дискретных (аналоговых) входов и выходов в устройстве к ПР205 можно подключать модули расширения типа PPM (до двух PPM к одному ПР205). Более подробно работа ПР205 приведена в [1]. На рис. 1 показан внешний вид устройства.

Программируемый блок управления шаговыми двигателями серии SMSD-LAN (далее – БУ) предназначен для биполярного управления работой с максимальным током питания каждой из фаз двигателя не более 4,2 А для SMSD-4.2 LAN и не более 8 А для SMSD-8.0 LAN. На рис. 2 показан внешний вид SMSD-4.2 LAN.

БУ серии SMSD-LAN поддерживают следующие основные функции:

- удалённое управление по сети Ethernet;
- управление работой шагового двигателя (далее ШД) в режиме контроллера по программе, хранящейся в памяти БУ (до 4 программ управления);
- автономная работа БУ по программе, хранящейся в энергонезависимой памяти;
- работа в режиме драйвера;
- работа в ручном режиме – аналоговое управление скоростью, управление ШД при помощи потенциометра SPEED или аналогового входа SPEED IN;
- работа в ручном режиме – аналоговое управление положением;
- звуковая сигнализация критических ситуаций с индикацией кода ошибки.

Более подробно работа БУ серии SMSD-LAN приведена в [2]. Программа SMC-Program LAN предназначена для работы с блоками серии SMSD-LAN. Она не требует установки и начинает работать сразу после копирования на диск. Имеется достаточно гибкая система команд, которая приведена в [3].

Рассмотрим пример устройства на базе ПР205 и SMSD-4.2 LAN для случая, когда ШД управляет приводом для управления заслонки (или затвора). Положение заслонки определяется по двум концевым выключателям. Принципиальная схема устройства представлена на рис. 3.

В данном случае БУ SMSD-4.2 LAN работает в режиме контроллера



Рис. 1. Внешний вид программируемого реле ПР205



Рис. 2. Внешний вид программируемого блока управления шаговыми двигателями SMSD-4.2 LAN

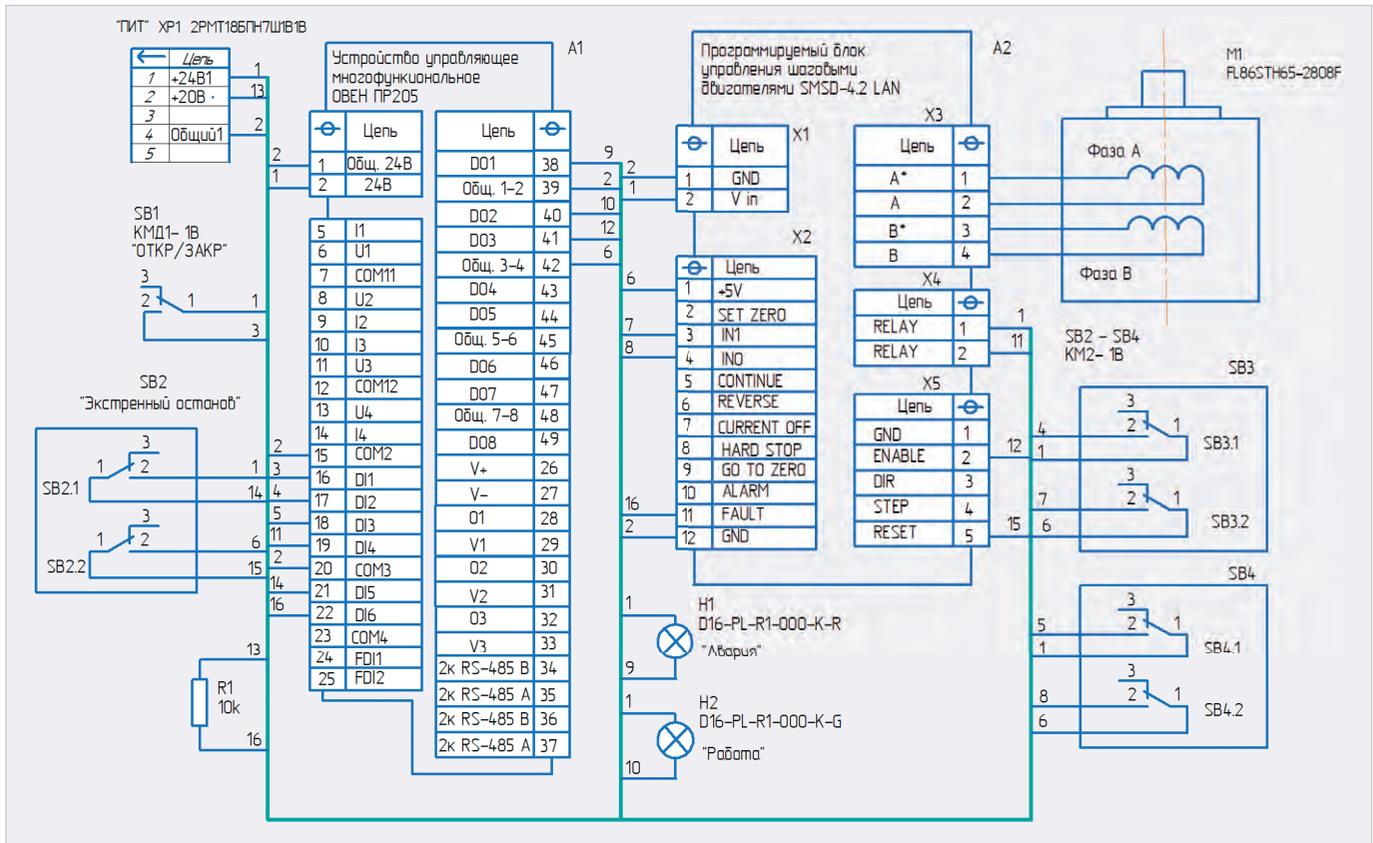


Рис. 3. Принципиальная схема устройства для управления заслонкой

Таблица 1. Функциональное назначение дискретных входов реле ПР205 (работа в режиме контроллера)

Дискретный вход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение в устройстве	Примечания
DI1	I1	Подключение кнопки SB1	Кнопка управления заслонкой (открыть/закрыть)
DI2	I2	Подключение концевого выключателя SB3	Концевой выключатель положения – открыто
DI3	I3	Подключение концевого выключателя SB4	Концевой выключатель положения – закрыто
DI4	I4	Подключение выходного реле БУ SMSD-4.2 LAN	Сигнал обратной связи с БУ для ПР205
DI5	I5	Подключение кнопки SB2	Кнопка экстренного останова
DI6	I6	Входной сигнал «Авария» для ПР200 с БУ SMSD-4.2 LAN	

Таблица 2. Функциональное назначение дискретных выходов реле ПР205 (работа в режиме контроллера)

Дискретный выход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечания
DO1	Q1	Включение индикатора H1	Выходной сигнал «Авария» в алгоритме работы устройства
DO2	Q2	Включение индикатора H2	Выходной сигнал «Работа» в алгоритме работы устройства
DO3	Q3	Сигнал «Пуск» для БУ SMSD-4.2 LAN	Автономная работа БУ по фронту сигнала «Пуск»

лера. Основные элементы устройства, приведённые на принципиальной схеме: А1 – реле ПР205; А2 – БУ SMSD-4.2 LAN; М1 – ШД FL86STH68-2808F с током фазы

2,8 А. Питающее напряжение 24 В поступает на составные части устройства с соединителя XP1. Положение заслонки (открыто/закрыто) определяется двумя концевыми выключателя-

ми SB3, SB4. После нажатия на кнопку SB1 начинается работа ШД. Заслонка меняет своё положение (из закрытого в открытое или наоборот). Номера контактов в соединителях, а также позиционные обозначения соединителей в БУ SMSD-4.2 LAN – приведены условно. В табл. 1 приведено функциональное назначение дискретных входов реле ПР205 в устройстве.

В табл. 2 приведено функциональное назначение дискретных выходов реле ПР205 в устройстве.

После нажатия на кнопку SB1 на выходе DO3 ПР205 устанавливается лог. 1, которая поступает на вход ENABLE в БУ. Начинается автономная работа БУ по программе, хранящейся в его энергонезависимой памяти. Ниже приведён текст программы для БУ:

```

0 SET_MIN_SPEED -> 10 //
çäääiëä iëiëiäëüië nëiðîñðë
(øääiä/näë)
1 SET_ACC -> 15 // çäääiëä
õñëiðäiëÿ (øääiä/näë2)
2 SET_MAX_SPEED -> 600 //
çäääiëä iäñëiäiäëüië nëiðîñðë
(øääiä/näë)
3 SET_DEC -> 40000 // õñðäií-
äëðü çäiäääëäiëä
4 GOTO_PROGRAM_IF_IN1 -> 8 //
iðë iäëë+ëë ëiä. 1 iä äçiää IN1
iäðäëðë iä ñððiëó 8
    
```

```

5 SET_RELE // ааеб+еоду дааа
6 GO_UNTIL_F -> 1 // ідіііе-
ааоду ааеаііаа ііаа іа оііаіі-
аеоду еіа. 1 іа асіаа ІN1
7 GOTO_PROGRAM -> 11 // іааа-
еодè іа ііодіеод 11
8 GOTO_PROGRAM_IF_IN0 ->11 //
іодè іаеè+еèè еіа. 1 іа асіаа ІN0
іаааеодè іа ііодіеод 11
9 SET_RELE // ааеб+еоду дааа
10 GO_UNTIL_R -> 0 // ідіііе-
ааоду ааеаііаа, ііаа іа оііаіі-
аеоду еіа. 0 іа асіаа ІN0
11 HARD_STOP // даеау іііаа-
ііааа ааеаааау
12 HARD_HI_Z // іііаііаа
ааааааау іі ааеб+аііаа іеод-
іеу іаііііе
13 CLR_RELE // ааеб+еоду дааа
14 END
    
```

Приведённые значения параметров, задающие скорость, ускорение и пр., в вышеуказанной программе приведены условно. Они определяются конкретной конструкцией привода заслонки или затвора. На рис. 4 приведён скриншот управляющей программы реле ПР205 в среде OWEN Logic для управления БУ SMSD-4.2 LAN в режиме контроллера.

На рис. 4 приведён также менеджер экрана «Работа 1» в режиме симуля-

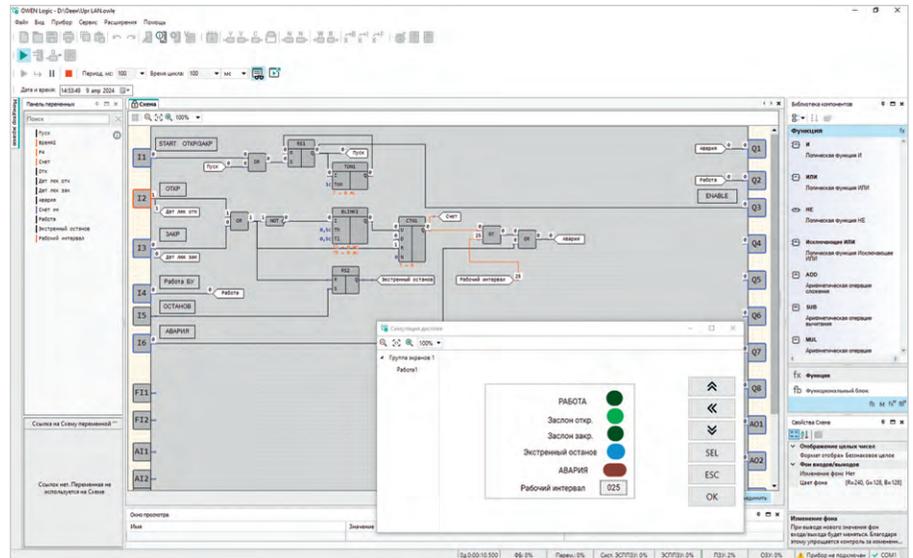


Рис. 4. Скриншот управляющей программы ПР205 в среде OWEN Logic для управления БУ SMSD-4.2 LAN в режиме контроллера

ции. Временной таймер, контролирующий временной интервал работы устройства, собран на генераторе импульсов BLINK1 и счётчике импульсов СТN1. Как только текущее время (открытия/закрытия) превысит заданную уставку (переменная – рабочий интервал), включится сигнал «Авария». Уставка задаётся с клавиатуры на передней панели ПР205. На рис. 4

на вкладке «симуляция дисплея» значение уставки равно 25 с. Отсчёт времени начинается сразу после нажатия кнопки «Открыть/закрыть». Блок, формирующий сигнал ENABLE для БУ SMSD-4.2 LAN, собран на триггере RS1 и таймере TON1. Применение вышеуказанного интерфейса управления позволяет на ПР200 организовать управление тремя БУ SMSD-4.2 LAN.

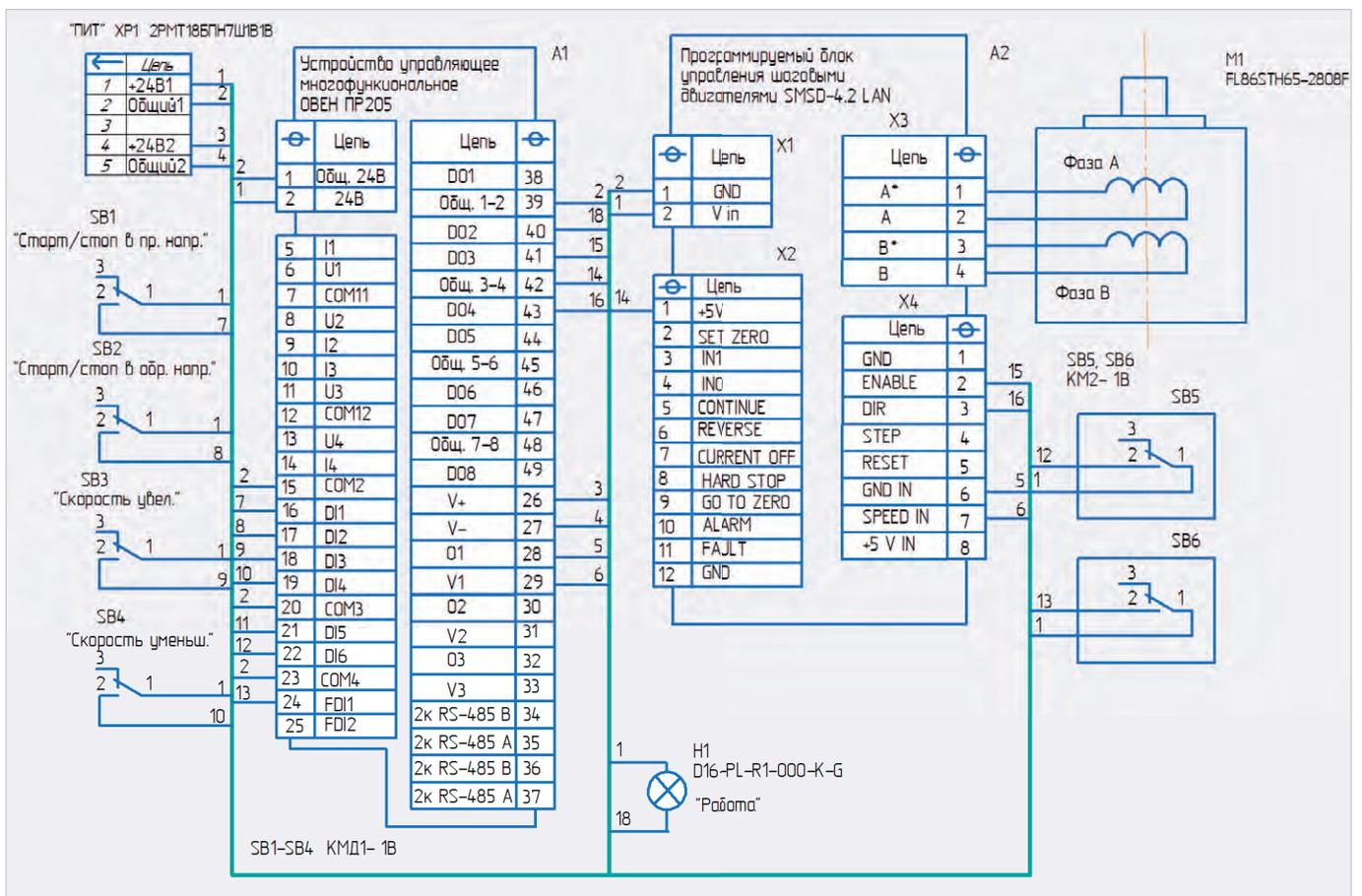


Рис. 5. Принципиальная схема устройства для БУ SMSD-4.2 LAN с аналоговым регулированием скорости

Таблица 3. Функциональное назначение дискретных входов реле ПР205 (ручной режим)

Дискретный вход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение в устройстве	Примечания
DI1	I1	Подключение кнопки SB1	Кнопка Старт/Стоп в прямом направлении
DI2	I2	Подключение кнопки SB2	Кнопка Старт/Стоп в обратном направлении
DI3	I3	Подключение кнопки SB3	Кнопка увеличения значения задаваемой скорости
DI4	I4	Подключение кнопки SB4	Кнопка уменьшения значения задаваемой скорости
DI5	I5	Подключение концевого выключателя SB5	Концевой выключатель для ограничения перемещения в прямом направлении
DI6	I6	Подключение концевого выключателя SB6	Концевой выключатель для ограничения перемещения в обратном направлении

Таблица 4. Функциональное назначение аналогового выхода и дискретных выходов реле ПР205 (ручной режим)

Дискретный выход в ПР205	Аналоговый выход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечания
D02		Q2	Включение индикатора H1	Выходной сигнал «Работа» в алгоритме работы устройства
D03		Q3	Сигнал «Пуск» для БУ SMSD-4.2 LAN	Работа БУ в прямом направлении при наличии сигнала лог. 1 сигнала «Пуск»
D04		Q4	Сигнал «Реверс» для БУ SMSD-4.2 LAN	Работа БУ в обратном направлении при наличии сигнала лог. 1 сигнала «Пуск»
	O1	A01	Выходной сигнал ПР200 для задания скорости вращения ШД	Выходной сигнал изменяется в диапазоне от 0 до 5 В

При этом к ПР205 необходимо подключить два модуля расширения ПРМ-24.1.

Выходные сигналы ПР200 «Авария», «Работа» могут быть задействованы для управления внешними исполнительными устройствами. На принципиальной схеме к данным выходам для визуального контроля подключены индикаторы H1, H2.

На рис. 5 приведена принципиальная схема устройства на базе ПР200 и БУ SMSD-4.2 LA, которая позволяет дискретными сигналами выбирать направление вращения и задавать скорость для аналогового входа SPEED IN в БУ SMSD-4.2 LAN, то есть с аналоговым регулированием скорости.

В данном случае БУ SMSD-4.2 LAN работает в ручном режиме управления. В табл. 3 приведено функциональное назначение дискретных входов реле ПР205 для работы в данном устройстве.

В табл. 4 приведено функциональное назначение аналогового выхода и дискретных выходов реле ПР205 в устройстве.

Алгоритм работы данного устройства следующий. Необходимая скорость вращения вала ШД задаётся оператором, кнопками SB3 «Скорость увел.» и SB4 «Скорость уменьш.». Вращение вала в нужном направлении после задания скорости осуществляется после нажатия (и удерживания) кнопок SB1 – вперёд (или SB2 – назад). ПР205 обрабатывает поступающие от кнопок сигналы и формирует нужный уровень напряжения для аналогового управления скоростью вра-

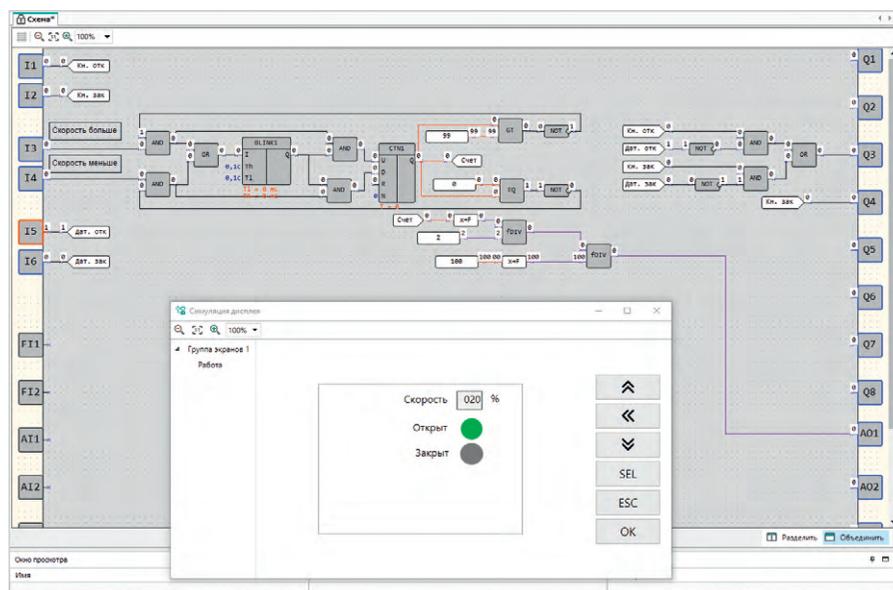


Рис. 6. Скриншот управляющей программы ПР205 в среде OWEN Logic для управления БУ SMSD-4.2 LAN в ручном режиме

щения двигателя, сигналы старта и остановки, сигнал задания направления. Два концевых выключателя SB5, SB6 ограничивают перемещение в прямом и реверсном направлении. При срабатывании концевого выключателя продолжение движения в данном направлении запрещено. При достижении концевого выключателя возможно движение привода только в обратном направлении. На рис. 6 приведён скриншот управляющей программы реле ПР205 в среде OWEN Logic для управления БУ SMSD-4.2 LAN. БУ SMSD-4.2 LAN работает в ручном режиме.

БУ SMSD-4.2 LAN в ручном режиме с функцией аналогового управления скоростью принимают на входе в качестве задания аналоговый сигнал напряжения от 0 до 5 В. 0 В соответствует минимальной скорости двигателя (остановка), 5 В соответствует максимальной скорости ШД. На выходе O1 ПР200 значение по напряжению может меняться от 0 до 10 В. Поэтому в программе введена соответствующая поправка на величину скорости. В данном случае идёт оперирование относительной величиной (в % от максимальной скорости).

На рисунке 6 приведён также вид менеджера экрана «Работа 2» в режи-

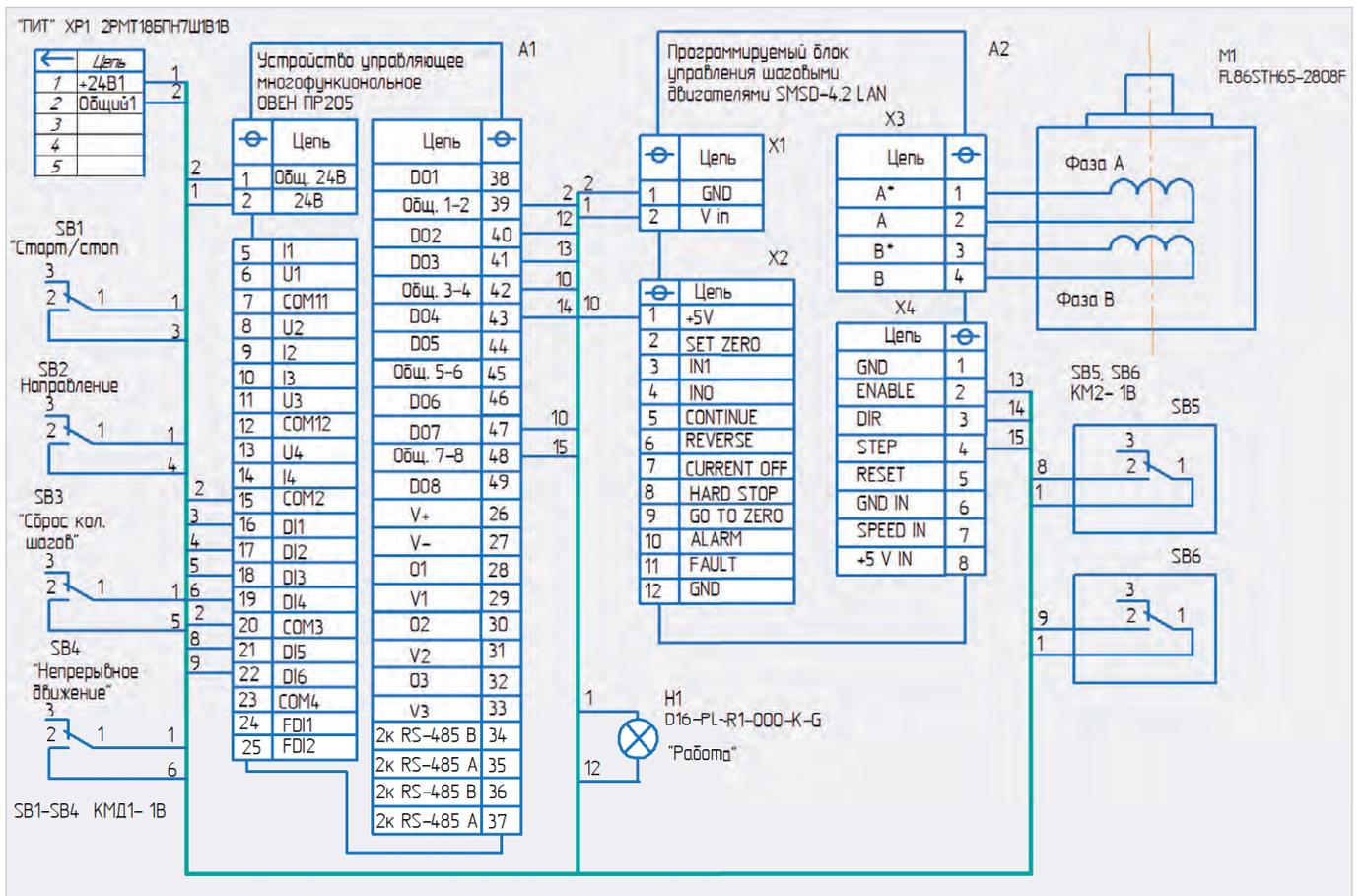


Рис. 7. Принципиальная схема устройства на базе БУ SMSD-4.2 LA, работающего в режиме драйвера и управляемого с PR205

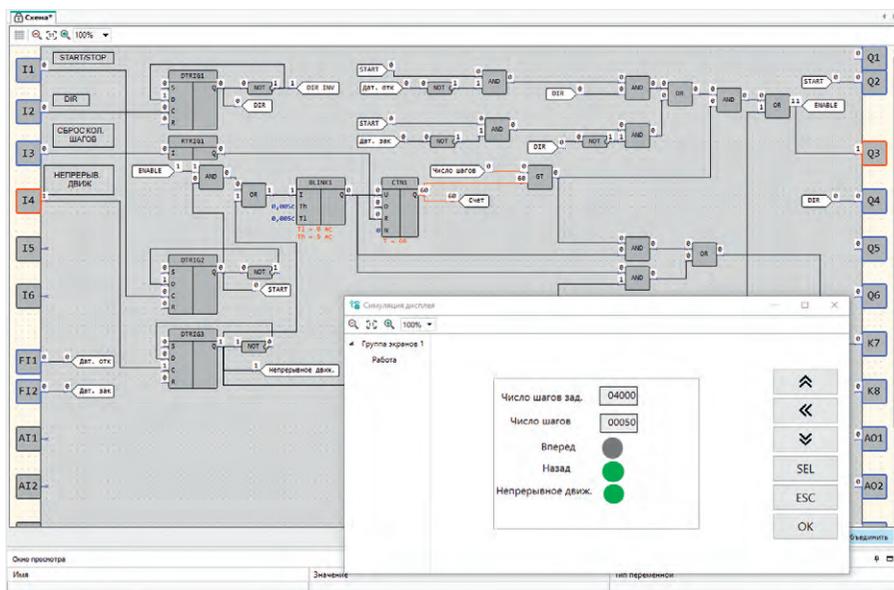


Рис. 8. Скриншот управляющей программы PR205 в среде OWEN Logic для управления БУ SMSD-4.2 LAN, работающего в режиме драйвера

ме симуляции. На нём приведено, что текущее положение затвора – закрыт. Скорость открытия/закрытия затвора установлена 20% от максимальной.

На рис. 7 приведена принципиальная схема устройства на базе PR205 и БУ SMSD-4.2 LA, работающего в режиме драйвера.

На рис. 8 приведён скриншот управляющей программы реле PR205 в среде OWEN Logic для управления БУ SMSD-4.2 LAN, работающего в режиме драйвера.

Передвижение на один шаг ШД осуществляется по фронту импульса на входе STEP в БУ SMSD-4.2 LA в направлении, заданном сигналом DIR.

Сигнал ENABLE задействован для разрешения питания фаз ШД. В табл. 5 приведено функциональное назначение дискретных входов реле PR205 для работы в данном устройстве.

В табл. 6 приведено функциональное назначение задействованных дискретных выходов реле PR205 в устройстве.

В скриншоте данной управляющей программы можно выделить следующие функциональные блоки:

- блок включения/выключения устройства. Выполнен на D-триггере DTRIG2;
- блок выбора направления движения. Выполнен на D-триггере DTRIG1;
- блок включения непрерывной работы. Выполнен на D-триггере DTRIG3;
- блок задания количества шагов. Выполнен на генераторе импульсов BLINK1, счётчике импульсов CTN1, элементе сравнения на большее значение GT;
- блок формирования сигнала ENABLE. Выполнен на логических элементах 2И, 2ИЛИ, НЕ.

В блоке задания количества шагов задействован счётчик импульсов CTN1. На его вход прямого счёта U поступают импульсы с генератора

Таблица 5. Функциональное назначение дискретных входов реле ПР205 (режим драйвера)

Дискретный вход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение в устройстве	Примечания
D11	I1	Подключение кнопки SB1	Кнопка «Старт/Стоп»
D12	I2	Подключение кнопки SB2	Кнопка задания направления вращения ШД
D13	I3	Подключение кнопки SB3	Сброс количества шагов
D14	I4	Подключение кнопки SB4	Кнопка включения режима непрерывного движения ШД
D15	I5	Подключение концевого выключателя SB5	Концевой выключатель для ограничения перемещения в прямом направлении
D16	I6	Подключение концевого выключателя SB6	Концевой выключатель для ограничения перемещения в обратном направлении

ра импульсов BLINK1. Допустимый диапазон значений числа импульсов N – от 0 до 65 535. Максимальная частота переключений транзисторного выхода типа «КТ» реле ПР205 – 100 Гц. Учитывая это, частота генератора BLINK1 также задана – 100 Гц. Конечно, выходная частота 100 Гц – это явно недостаточно для управления приводами, где необходима большая частота вращения вала ШД. Алгоритм работы данного устройства следующий. Можно выделить два режима работы:

- работа по заданному количеству шагов (режим № 1);
- непрерывный режим работы (режим № 2).

Режим № 1. С кнопок, расположенных на лицевой панели ПР205, задаётся количество шагов (не более 65 535). Направление движения задаётся кнопкой – SB2. Движение привода начинается после нажатия на кнопку SB1 «Старт/Стоп». Два концевых выключателя SB5, SB6 ограничивают перемещение в прямом и реверсном направлении. При срабатывании концевого выключателя (SB5 либо SB6) продолжение движения в данном направлении запрещено.

Режим № 2. Сначала задаётся направление движения кнопкой SB2. Движение привода в заданном направлении осуществляется после нажатия кнопки SB4 «Непрерывное движение». При этом идёт отсчёт количества шагов. Для остановки привода необходимо повторно нажать кнопку SB4. На рис. 8 приведён вид программы в режиме симуляции, вид экрана «Работа 3» при непрерывном режиме работы.

Ранее премьер-министр РФ Михаил Мишустин объявил о планах реализовать проекты, направленные на достижение технологического суверенитета страны. Кравченко также сообщил ТАСС, что власти разрабатывают федеральную программу по подготовке молодых специалистов для науки и промышленности уже несколько лет. Он добавил, что в настоящее время можно подготовить молодёжь до уровня, необходимого для ключевых отраслей промышленности, в частности, используя

Таблица 6. Функциональное назначение задействованных дискретных выходов реле ПР205 (режим драйвера)

Дискретный выход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечания
D02	Q2	Включение индикатора H1	Выходной сигнал «Работа» при работе устройства по заданному алгоритму после нажатия кнопки «Старт/Стоп»
D03	Q3	Сигнал «ENABLE» для БУ SMSD-4.2 LAN	Сигнал «Разрешение»
D04	Q4	Сигнал «DIR» для БУ SMSD-4.2 LAN	Сигнал задания направления вращения ШД
D07	K	Сигнал «STEP» для БУ SMSD-4.2 LAN	Задействован транзисторный выход ПР205

Применение программируемых реле с графическим цветным экраном в устройствах управления приводами вполне оправданно, когда необходим сравнительно недорогой технологический пульт для локального управления приводом. Алгоритм работы программируемого реле (технологического пульта) при необходимости можно оперативно изменить.

Литература:

1. Руководство по эксплуатации. Устройства управляющие многофункциональные ПР205.
2. Паспорт SMSD.LAN.004.ПС. Программируемый блок управления шаговыми двигателями SMSD_LAN. Краткое руководство.
3. Программа для управления шаговыми приводами. SMC-Program LAN. ©

НОВОСТИ МИРА

Ускорение создания социальных лифтов и новых механизмов для подготовки кадров в промышленности: мнение экспертов

По словам Дениса Кравченко, заместителя председателя Комитета Государственной Думы по экономической политике, стране необходимо активизировать создание новых механизмов и социальных лифтов для обеспечения кадрами высокотехнологических отраслей, особенно промышленности.

Ранее премьер-министр РФ Михаил Мишустин объявил о планах реализовать проекты, направленные на достижение технологического суверенитета страны.

Кравченко также сообщил ТАСС, что власти разрабатывают федеральную программу по подготовке молодых специалистов для науки и промышленности уже несколько лет.

Он добавил, что в настоящее время можно подготовить молодёжь до уровня, необходимого для ключевых отраслей промышленности, в частности, используя



практико-ориентированное образование без отрыва от производства.

Однако для решения этой важной задачи России необходимы эффективные меры и новые социальные лифты.

indpages.ru

Программируемое 32-канальное светодиодное динамическое устройство

Александр Одинец

Программируемое 32-канальное светодиодное динамическое устройство (СДУ) является усовершенствованным вариантом устройства, опубликованного в [1], содержит интегрированный программатор и позволяет управлять независимо каждым из 32 световых элементов гирлянды по трём соединительным линиям последовательного интерфейса. В модернизированном варианте устройства учтены все особенности работы контроллера на несогласованные линии большой длины. Такое построение СДУ позволяет наращивать число элементов с минимальными аппаратными затратами без увеличения жгута проводов и располагать гирлянду на большом удалении от основной платы контроллера. Разнообразие светодиодных динамических эффектов не ограничено и зависит от воображения пользователя.

Общие сведения

Светодиодные динамические устройства (СДУ) находят широкое применение для эстетического оформления баров, дискотек, казино, праздничной иллюминации, в автомобильной электронике (для управления стоп-сигнальными огнями), а также для организации световой рекламы. СДУ с программируемыми алгоритмами позволяют реализовать большое многообразие светодиодных динамических эффектов и управлять по программе большим числом световых элементов. Такое устройство можно выполнить, к примеру, на одном микроконтроллере и нескольких регистрах, в качестве интерфейсных схем, для управления набором световых элементов. Но, несмотря на простоту схемотехнических решений, изготовление таких устройств требует использования программатора. С другой стороны, применение распространённых микросхем стандартной логики позволяет построить полностью автономное многоканальное светодиодное динамическое устройство с интегрированным программатором, не требующее использования никаких дополнительных программаторов вообще или компьютера в частности. Это позволяет всего за несколько минут перепрограммировать набор светодиодных динамических эффектов в полностью автономном режиме. Применение последовательного интерфейса, реализованного в данном устройстве, позволяет управлять одновременно и синхронно несколькими гирляндами световых элементов по трём сигналь-

ным линиям (не считая общего провода), общая длина которых может достигать 100 м.

В подавляющем большинстве конструкций светодиодных динамических устройств реализовано управление каждым световым элементом непосредственным его подключением с помощью отдельного сигнального проводника к основной плате контроллера. Но, как правило, такие устройства позволяют управлять лишь небольшим числом элементов [2]. Наращивание их числа требует использования дополнительных микросхем памяти и соответствующего увеличения жгута проводов. Это приводит к значительному усложнению как схемотехнической части, так и программного кода, необходимого для «прошивки» нескольких микросхем памяти. Кроме того, в таком варианте невозможно управлять набором световых элементов, удалённых от основной платы контроллера на значительное расстояние.

Практика повторения светодиодных динамических устройств, например [2], показывает, что публикуемые прошивки, к сожалению, далеки от совершенства и содержат грубые ошибки. А ведь пользователь ожидает результатом работы устройства получить именно *эстетический* визуальный эффект. Поэтому такой подход к разработке программного кода напрочь отбивает желание повторять программируемые светодиодные динамические устройства, несмотря на большое многообразие эффектов, реализуемых программным способом. Предлагаемое устройство лишено

этого недостатка, и, прежде чем записать в память текущую светодиодную динамическую комбинацию, она отображается на контрольной линейке светодиодов, что позволяет полностью исключить возможные ошибки, которые могут быть допущены пользователем в процессе программирования.

Решением задачи увеличения числа и управления набором световых элементов, расположенным на большом расстоянии от основной платы контроллера, является применение последовательного интерфейса между основной платой и гирляндой, состоящей из регистров, непосредственно к выходам которых и подключаются световые элементы. В таком устройстве передача данных в выходные регистры производится в течение очень короткого промежутка времени с тактовой частотой около 12,5 КГц (при тактовой частоте ВЧ-генератора 100 КГц). Пакеты данных следуют друг за другом с частотой около 10 Гц, что приводит к смене светодиодных динамических комбинаций. Поскольку время обновления данных в регистрах очень мало: $80 \text{ мкс} \times 32 \text{ импульса} = 2,56 \text{ мс}$, смена комбинаций происходит визуально незаметно, что и создаёт эффект их непрерывного воспроизведения. Линия выполняется жгутом из 4 многожильных проводников, включая общий провод, при длине линии до 10 метров, и жгутом из 7 многожильных проводников при длине от 10 до 100 метров. Во втором случае каждый сигнальный проводник («Данные», «Синхронизация», «Разрешение индикации») выполняется витой парой, второй проводник которой заземляется с обеих сторон линии, и после этого все проводники объединяются в один жгут.

Как известно, многократные отражения сигнала, возникающие в длинных несогласованных линиях, а также интерференционное взаимодействие двух сигнальных линий, входящих в один жгут, при определённых условиях могут привести к ошибкам в передаче данных, что в случае светодиодной динамической системы означает нарушение эстетического эффекта. Это накладывает

вает ограничения на длину соединительной линии и предъявляет жёсткие требования к помехоустойчивости системы, использующей последовательный интерфейс.

Помехоустойчивость системы, использующей последовательный интерфейс, зависит от многих факторов: частоты и формы импульсов транслируемого сигнала, времени между изменениями уровней (скважности) импульсов, удельной ёмкости проводников линии, входящих в жгут, эквивалентного сопротивления линии, а также входного сопротивления приёмников сигнала и выходного сопротивления драйверов.

Известно, что **главным критерием помехоустойчивости** является значение порогового напряжения переключения логических элементов [3]. За пороговое напряжение переключения инвертирующего логического элемента принимается такое значение, при котором на выходе элемента устанавливается напряжение, равное входному. Для микросхем ТТЛ-структуры (серии К155) это значение составляет примерно 1,1 В при типовом значении напряжения питания 5 В [3]. Применение таких микросхем в устройствах передачи и приёма данных по длинным несогласованным линиям не позволяет получить приемлемой помехоустойчивости даже при работе на линии небольшой длины (5 м). Дело в том, что многократные отражения сигнала, амплитуда которых даже незначительно превышает значение порогового напряжения переключения логических элементов (1,1 В), приводят к многократному переключению выходных регистров, а значит, к ошибкам передачи данных. Применение более совершенных ИМС ТТЛШ-структуры (серии КР1533) не решает проблемы, поскольку пороговое напряжение для них ненамного больше и составляет всего 1,52 В при стандартном напряжении питания [3]. Чтобы частично скомпенсировать отражённый сигнал, часто используют обычные RC-фильтры (так называемые интегрирующие цепочки), но они же сами и вносят искажения в передаваемый сигнал, искусственно увеличивая времена нарастания и спада фронтов сигнала. Поэтому такой способ малоэффективен и в конечном счёте приводит только к увеличению суммарной паразитной ёмкости линии, что создаёт дополнительную нагруз-

ку на микросхемы трансляторов сигналов на передающей стороне линии. Есть и ещё одна проблема, связанная с применением RC-фильтров. С увеличением времён нарастания и спада фронтов сигнала увеличивается и время «пробытия» управляющего сигнала вблизи «опасного» порогового уровня напряжения переключения логического элемента, что, в свою очередь, приводит к возрастанию вероятности ложного переключения выходного регистра под действием сигнала помехи. В случае применения микросхем структуры КМОП серии КР1564 симметричные передаточные характеристики обеспечивают помехоустойчивость на уровне 45% от напряжения источника питания, что близко к идеальному значению (50%), причём помехоустойчивость системы возрастает с увеличением напряжения источника питания, поскольку возрастает амплитуда транслируемого сигнала.

Современная элементная база – быстродействующие КМОП-микросхемы, обладающие высокой нагрузочной способностью и максимальной помехоустойчивостью (их пороговое напряжение переключения практически равно половине напряжения питания), – позволяют построить СДУ с последовательным интерфейсом, длина соединительных линий которого, учитывая участки, соединяющие регистры выносной гирлянды, может достигать 100 м даже при использовании обычной витой пары (никаких экранированных проводников!). Кроме того, для трансляции сигналов в линию использованы мощные буферные элементы с триггерами Шмитта типа КР1554ТЛ2, высокая нагрузочная способность которых позволяет непосредственно управлять ёмкостной нагрузкой.

Эффекты влияния длинных несогласованных линий начинают проявляться, когда времена задержек распространения сигнала вдоль линии и обратно начинают превосходить длительность фронтов нарастания и спада сигнала. Любые несоответствия между эквивалентным сопротивлением линии и входным сопротивлением логического элемента на приёмной стороне линии или выходного сопротивления драйвера на передающей стороне приводят к многократному отражению сигнала. Типовое значение времён нарастания и спада фронтов сигнала для микросхем серии КР1564 составляет менее 5 нс, поэтому эффекты влияния длинных несогласованных линий начинают

проявляться при её длине в несколько десятков сантиметров.

Зная характеристики линии передачи, такие как полная входная ёмкость и удельная ёмкость на единицу длины, можно вычислить время задержки распространения сигнала по всей длине линии. Типовое значение времени задержки распространения сигнала обычно составляет 5–10 нс/м. Если длина соединительной линии достаточно велика и длительность фронтов нарастания и спада сигнала достаточно мала (т.е. высока крутизна), несоответствие эквивалентного сопротивления линии и входного сопротивления логического КМОП элемента на приёмной стороне создаёт отражение сигнала, амплитуда которого зависит от мгновенного значения напряжения, приложенного ко входу элемента, и коэффициента отражения, который, в свою очередь, зависит от эквивалентного сопротивления линии и входного сопротивления входного логического элемента.

Поскольку входное сопротивление элементов микросхем серии КР1564 многократно превосходит эквивалентное сопротивление линии, выполненной витой парой или экранированным проводником, отражённое напряжение на входе приёмника удваивается. Этот отражённый сигнал распространяется вдоль линии обратно к передатчику, где он вновь отражается, и процесс повторяется до полного затухания сигнала.

Преимущество микросхем структуры КМОП, благодаря их высокой нагрузочной способности (серия КР1554), заключается в возможности непосредственно управлять нагрузкой, имеющей ёмкостный характер. Сбалансированные (симметричные) вольтамперные передаточные характеристики элементов этих микросхем позволяют получить практически одинаковые времена фронтов нарастания и спада сигнала. Кроме того, для трансляции сигналов в линию и приёма можно использовать буферные элементы на основе триггеров Шмитта, которые восстанавливают строго прямоугольную форму искажённого сигнала и тем самым исключают ложное срабатывание регистров. Кроме того, наличие гистерезиса на передаточной характеристике (при напряжении питания 5 В для ИС КР1564ТЛ2 это значение составляет примерно 400 мВ) создаёт дополнительный запас помехоустойчивости [3].

Схема электрическая принципиальная

Устройство содержит два параллельно включённых регистра. Один из них – контрольный, установленный на основной плате устройства. К выходам его микросхем (DD18–DD21) подключены светодиоды, по которым производится визуальное наблюдение процесса программирования. Второй – выходной регистр (DD23, DD25, DD27, DD29) – является управляющим для гирлянды выносных элементов. Оба регистра работают синхронно, но в процессе программирования участвует только первый из них. Управление выходным регистром, следовательно, и загрузка в него данных, осуществляется по сигнальным линиям последовательного интерфейса: «**Данные**», «**Синхронизация**» и «**Разрешение индикации**». Третья линия – вспомогательная, этот сигнал кратковременно отключает выходы ИМС всех регистров на время загрузки текущей комбинации, что исключает эффект мерцания малоинерционных светодиодов. Таким образом, гирлянда выносных элементов подключается к основной плате устройства (не считая экранирующих (необходимых только при длине линии более 10 м), составляющих пару каждому сигнальному проводнику) всего четырьмя проводами: «**Данные**», «**Синхронизация**», «**Разрешение индикации**» и «**Общий**».

Благодаря применению последовательного интерфейса такое построение устройства позволяет наращивать количество световых элементов с минимальными аппаратными затратами без существенного усложнения протокола. Максимальное их число ограничено только помехоустойчивостью линии связи и нагрузочной способностью источника питания. При указанных номиналах времязадающих элементов С4R12 тактового ВЧ-генератора, собранного на элементах DD3.3, DD3.4, установке движка подстроечного резистора R13 в положение, соответствующее максимальному сопротивлению (что соответствует частоте ВЧ-генератора $FT = 20$ КГц), и выполнении сигнальных проводников линии витыми парами проводов, её длина может достигать 100 метров.

В устройстве использована ИМС энергонезависимой памяти с электрическим стиранием (ЭСППЗУ) объёмом 16 Кбит (16 384 бита) типа AT28C16-15PI. Объём памяти, соответствующий

одной комбинации, составляет 32 бита. Полный цикл формирования светодинамического эффекта, например «бегущего огня», состоит из 32 комбинаций. Таким образом, объём памяти, занимаемый таким эффектом, составляет $32 \times 32 = 1024$ бита, следовательно, максимальное количество эффектов этого типа, которые одновременно могут быть записаны в ЭСППЗУ, составляет $16\ 384 / 1024 = 16$. Следует учитывать, что указанный эффект является самым ресурсоёмким, поэтому реальное количество светодинамических эффектов, которые занимают меньше адресного пространства ЭСППЗУ, может быть значительно большим. Для получения ещё большего количества эффектов при неизменном числе элементов гирлянды объём памяти может быть увеличен, к примеру, до 64 Кбит заменой ИМС ЭСППЗУ на AT28C64-15PI и увеличением разрядности адресного счётчика.

Процесс программирования достаточно прост и удобен: он производится последовательным нажатием трёх кнопок. Задание комбинации световых элементов производится последовательным нажатием двух кнопок: SB1 – **Запись «0»** и SB2 – **Запись «1»**, которым соответствует введение на линейку включённого и выключенного светодиодов. Записи «нуля» соответствует именно включённый светодиод, поскольку этот уровень появляется на соответствующем выходе регистра. Светодиодная комбинация, записываемая в регистры, сдвигается вправо на один разряд непосредственно после очередного нажатия любой из указанных кнопок. Запись в ЭСППЗУ сформированной комбинации производится по однократному нажатию кнопки SB3 – **«Сохранение комбинации»**. При этом автоматически формируется последовательность импульсов, при которой происходит запись в ЭСППЗУ текущего состояния контрольного регистра. Следует особо подчеркнуть, что такой алгоритм программирования позволяет полностью исключить возможные ошибки, которые могут быть допущены пользователем в процессе программирования, поскольку нет необходимости сразу же после введения комбинации на контрольную линейку нажимать кнопку SB3, и только убедившись, что с помощью кнопок SB1 и SB2 введена правильная комбинация, – нажимают SB3.

Принцип работы

Схема электрическая принципиальная автономного программируемого 32-канального СДУ приведена на рис. 1. На схеме в явном виде показано подключение одного выходного регистра, состоящего из 8 микросхем, с помощью трёх сигнальных проводников соединительной линии. Таких выходных регистров, которые при параллельном включении будут работать синхронно, может быть несколько. Общий проводник (на схеме не показан), соединяющий выходной регистр и общий провод основной платы контроллера, также входит в состав соединительной линии и должен выполняться многожильным проводом сечением не менее 1 мм².

Устройство может работать в двух режимах: программирования и считывания. (На схеме показано положение переключателя SA1, соответствующее режиму воспроизведения.) Режим программирования устанавливается в нижнем (по схеме) положении переключателя SA1. Этот режим индицирует включение красного светодиода HL2. При этом блокируется работа НЧ-генератора прямоугольных импульсов, собранного на элементах DD3.1, DD3.2, и на выходе элемента DD3.2 (вывод 6) формируется низкий логический уровень. Последовательное нажатие кнопок SB1, SB2 приводит к появлению уровней логического «0» на выходах 1Q или 2Q микросхемы DD2, содержащей 4 одинаковых независимых RS-триггера. Появление любого из этих уровней на выходах 1Q или 2Q, а значит, на одном из входов элемента DD1.2, приводит к формированию на его выходе положительного импульса и его последующему ограничению по длительности дифференцирующей цепочкой C2R10. Поскольку на входах S0, S1 мультиплексора DD14 были установлены логические «нули», то на его выходы поступит информация с входов A0, B0. При этом, какой уровень будет записан в первый разряд регистров DD18, DD23, зависит от нажатой кнопки SB1 или SB2. При нажатии SB1 будет записан логический ноль, при нажатии SB2 – логическая единица.

После введения комбинации на контрольную линейку светодиодов HL12–HL43, а значит – и в контрольные регистры DD18–DD21, нажимают кнопку SB3. При этом инициируется цикл записи текущей комбинации

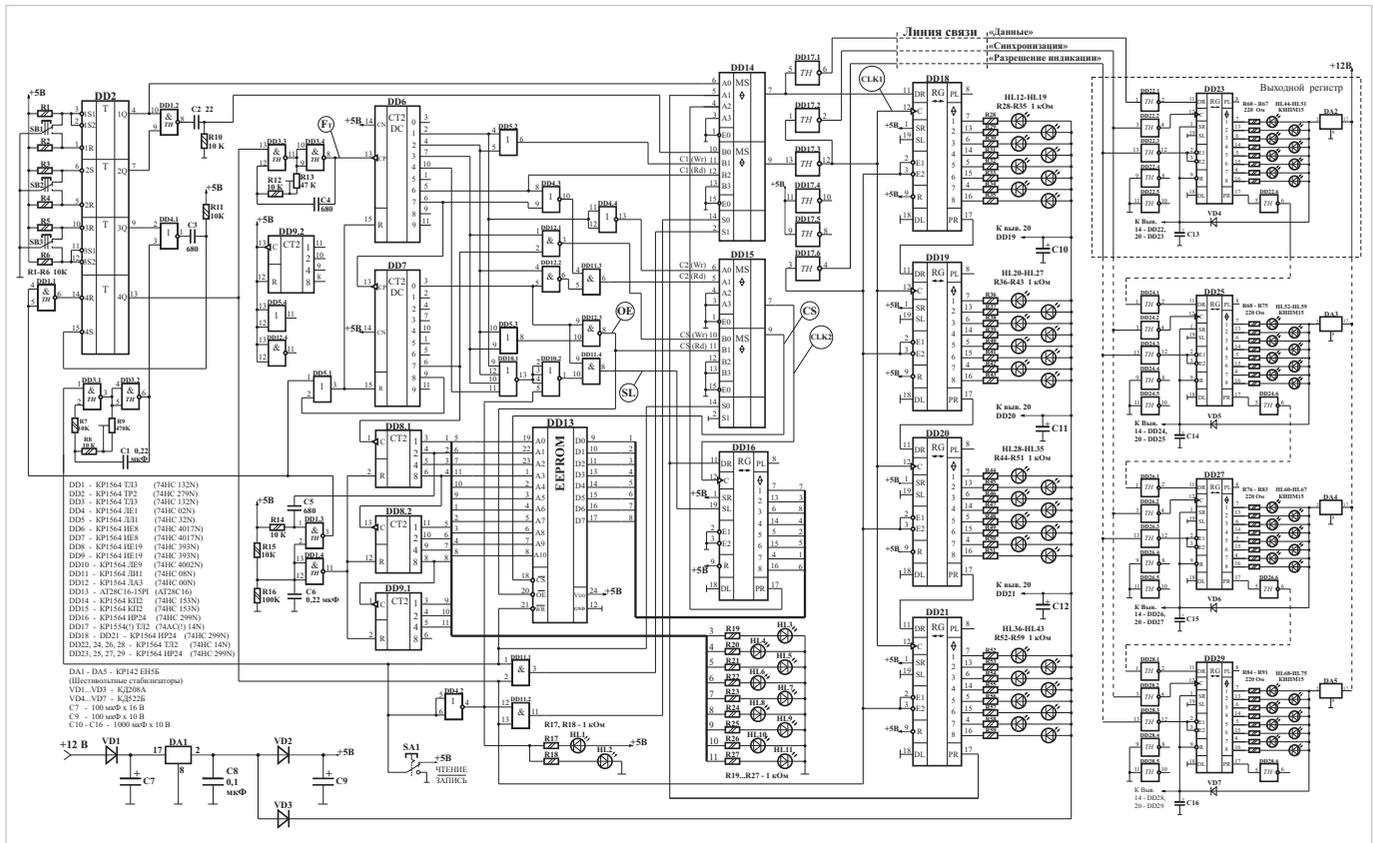


Рис. 1. Программируемое 32-канальное светодиодное устройство. Схема электрическая принципиальная

в ЭСППЗУ, состоящий из 4 тактов. В каждом такте производится запись в буферный регистр DD16 содержимого регистра DD21, перезапись его в ЭСППЗУ, сдвиг информации, содержащейся в контрольных регистрах DD18–DD21, вправо на 8 разрядов и запись содержимого регистра DD21 в регистр DD18. Таким образом, по завершении 4-го такта в ЭСППЗУ будет записано содержимое всех четырёх ИМС контрольного регистра с одновременным обновлением их состояния.

При нажатии кнопки SB3 на выходе 3Q третьего RS-триггера ИМС DD2 формируется положительный импульс, равный по длительности времени нажатия кнопки. Этот импульс после инвертирования элементом DD4.1 и ограничения по длительности дифференцирующей цепочкой C3R11 устанавливает 4-й RS-триггер ИМС DD2 в единичное состояние. Логическая единица с его выхода 4Q (вывод 13) разрешает работу ВЧ-генератора, выполненного на элементах DD3.3, DD3.4, и одновременно запрещает индикацию текущей светодиодной комбинации, содержащейся в контрольном и выходном регистрах. Это необходимо для устранения эффекта мерцания малоинерционных светодиодов в процессе загрузки новой комбинации.

Также этот уровень воздействует на входы логических элементов DD11.1, DD11.2 и вызывает появление на выходе последнего из них уровня логической «1», которая воздействует на вход S0 (вывод 14) мультиплекса DD14 и разрешает прохождение на выходы (выводы 7 и 9) информации с его соответствующих входов «A1», «B1». Поскольку в момент включения питания отрабатывает схема обнуления счётчиков DD6, DD7, DD8.1, DD8.2, DD9.1, то в начальный момент времени первого из 4 тактов цикла записи на выходах «0» (выводы 3) счётчиков DD6, DD7 формируются уровни логической единицы.

Отрицательный перепад первого импульса положительной полярности на входе CP (вывод 13) счётчика DD6 приведёт к появлению на выходе «1» (вывод 2) уровня логической единицы, а значит, и уровня «1» на выходе элемента DD5.2. Этот уровень, проходя через нижний, по схеме, мультиплексор DD14 и инвертируясь триггером Шмитта DD17.3, воздействует на входы стробирования «С» (выводы 12) контрольных регистров DD18–DD21 (см. диаграмму на рис. 2: отрицательный перепад **CLK1**).

Этот логический уровень на выходе элемента DD5.2 сохранится до

момента спада третьего импульса на входе CP счётчика DD6 (см. диаграмму на рис. 2: положительный перепад (фронт) **CLK1**). В этот период времени, между спадами 1-го и 2-го импульсов, на выходе инвертора DD4.4 будет сформирован отрицательный импульс (см. диаграмму на рис. 2: **CLK2**). Этот импульс после повторения верхним по схеме мультиплексором, входящим в состав ИМС DD15, произведёт запись в буферный регистр DD16 одного бита информации с выхода «PR» (вывод 17) последнего разряда контрольного регистра DD21. Положительный перепад импульса на выходе инвертора DD4.4 совпадает по времени со спадом 2-го импульса на входе «CP» счётчика DD6 (см. диаграмму на рис. 2: фронт **CLK2**). По спаду 3-го импульса на входе «CP» счётчика DD6 на выходе элемента DD5.2 будет сформирован положительный перепад (**CLK1**), который после повторения нижним по схеме мультиплексором ИМС DD14 и инвертирования триггером Шмитта DD17.3 произведёт запись одного бита информации с выхода «PR» последнего разряда контрольного регистра DD21 в первый разряд регистра DD18. Мощные триггеры Шмитта DD17.1 и DD17.2 (входящие в состав ИМС KP1554 TL2) введены в устройство для непосредственной

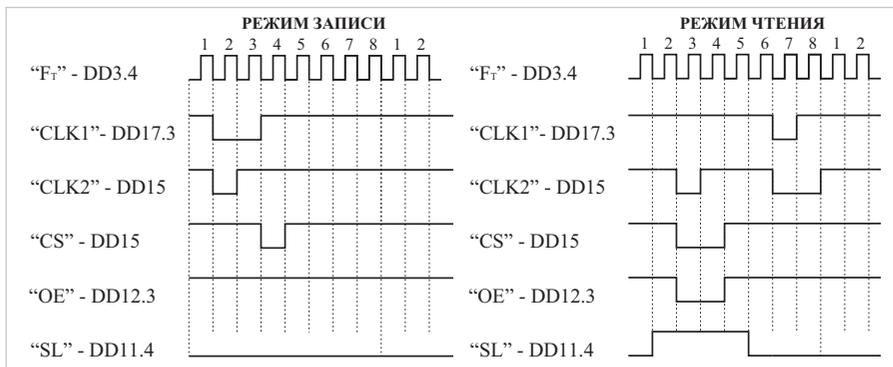


Рис. 2. Программируемое 32-канальное светодиодное устройство. Временные диаграммы работы устройства в режимах записи и чтения

работы на линию, имеющую ёмкостный характер нагрузки, а также для предотвращения попадания отражённого из линии сигнала на входы контрольных регистров посредством разделения соответствующих сигнальных цепей.

Описанная процедура повторяется 8 раз до момента заполнения буферного регистра DD16 и перезаписи содержимого регистра DD21 в регистр DD18. По завершении 8-го отрицательного импульса синхронизации на входе «С» буферного регистра (см. диаграмму на рис. 2: фронт **CLK2**), в регистр DD16 будет полностью переписано текущее состояние регистра DD21. Это произойдёт по спаду 58-го импульса на входе «СР» счётчика DD6.

По этому спаду счётчик DD6 перейдёт в 3-е состояние. Поскольку к этому времени счётчик DD7 уже был в 7-м состоянии, то два сигнала уровня логической единицы, приходящие на входы элемента DD12.1, вызовут появление на его выходе уровня логического нуля. Таким образом, на выходе элемента DD12.1 будет сформирован отрицательный импульс («**CS**», см. рис. 2), равный по длительности периоду следования импульсов ВЧ-генератора, выполненного на элементах DD3.3, DD3.4. После прохождения через нижний, по схеме, мультиплексор ИМС DD15 (напомним, что на его входе «S0» установлен уровень «нуля», заданный переключателем SA1) этот отрицательный импульс осуществляет выборку кристалла ИМС ЭСППЗУ DD15 по входу «CS» (Chip Select – Выбор Кристалла) и тем самым производит параллельную запись 8 бит информации, сформированных на выходах буферного регистра DD16 по адресу, установленному на входах A0–A10 ЭСППЗУ DD13.

Визуальный контроль заполнения адресного пространства ИМС

ЭСППЗУ DD13 производят по линейке светодиодов HL3–HL11, отображающих текущий адрес двоичных счётчиков DD8.1, DD8.2, DD9.1. Первые шесть светодиодов HL3–HL9, зелёного цвета, индицируют заполнение первых 25% адресного пространства, жёлтый HL10 в сочетании с зелёными – от 25 до 50%, красный HL11 в сочетании с жёлтым и зелёными – от 50 до 100%. Одновременное свечение всех светодиодов в режиме записи указывает на заполнение всего адресного пространства ЭСППЗУ, кроме ячеек по четырём последним адресам. После записи светодиодной комбинации по четырём последним адресам счётчики DD8.1, DD8.2 устанавливаются в нулевое состояние, а DD9.1 – в восьмое, что сопровождается гашением светодиодов HL3–HL11. На всех адресных линиях устанавливаются уровни «нулей». При этом запись программы может быть произведена повторно.

Режим чтения устанавливается переводом переключателя SA1 в верхнее, по схеме, положение, чему соответствует включение зелёного светодиода HL1. В этот режим устройство можно перевести в любой момент, даже не завершая программирование всего адресного пространства ЭСППЗУ. В этом случае будет воспроизведена программа, записанная ранее по адресам, начиная с текущего и до конца адресного пространства, а затем цикл воспроизведения программы продолжится, начиная с нулевого адреса ЭСППЗУ. Если режим чтения задан до включения питания, схема сброса, собранная на элементах C6R15, DD1.3, DD1.4, DD5.1, установит в нулевое состояние счётчики DD6, DD7, DD8.1, DD8.2, DD9.1. В этом режиме уровень логической единицы с левого, по схеме, вывода переключателя SA1 разрешит работу НЧ-генератора, выпол-

ненного на элементах DD3.1, DD3.2 с частотой около 10 Гц. Импульсы положительной полярности с выхода элемента DD3.2 после инвертирования элементом DD4.1 и ограничения длительности дифференцирующей цепочкой C3R11 будут вызывать установку в единичное состояние 4-го RS-триггера ИМС DD2. В этом режиме спад первого положительного импульса на входе «СР» счётчика DD6 установит последний в единичное состояние, что приведёт к переключению в нулевое состояние элемента DD10.1. Уровень логического нуля с его выхода, инвертируясь элементом DD10.2, воздействует на вход элемента DD11.4 и совместно с уровнем «единицы», приходящим на второй вход этого элемента, устанавливает на его выходе также уровень «1». Этот уровень приведёт к переключению выходов буферного регистра DD16 в третье состояние – теперь они стали входами (см. диаграмму на рис. 2: фронт «**SL**»). По спаду второго импульса на входе «СР» счётчика DD6 на его выходе «2» (вывод 4) появляется уровень логической «1», который переводит элемент DD5.3 в единичное состояние. Единичный уровень с его выхода воздействует на вход элемента DD12.3 и в сочетании с уровнем логической единицы, приходящей на второй вход этого элемента, установит на его выходе уровень логического нуля. Этот логический уровень, воздействуя на вход «OE» (Output Enable – Разрешение Выходов) ИМС ЭСППЗУ DD13, приводит к переключению её выходов в активное состояние (см. диаграмму на рис. 2: спад «**OE**»), а также, проходя через нижний, по схеме, мультиплексор DD15 (поскольку на его входе «S0» теперь установлен уровень «1»), приводит к выбору ИМС ЭСППЗУ DD13, по входу «CS». На выходах D0–D7 ЭСППЗУ появляются данные, записанные по текущему адресу, установленному в данный момент на адресных входах A0–A10.

Одновременно, по спаду второго импульса на входе «СР» счётчика DD6, начинается формирование отрицательного импульса параллельной записи в буферный регистр DD16 (см. диаграмму на рис. 2: первый спад CLK2). Этот импульс формируется на выходе элемента DD11.3 в начале каждого из четырёх тактов цикла чтения, т.е. перед началом формирования каждого из 8 импульсов синхронизации (CLK1) контрольного и выходно-

го регистров. Формирование импульса параллельной записи в буферный регистр DD16 (см. диаграмму на рис. 2: первый фронт CLK2) завершится по спаду третьего импульса на входе «CP» счётчика DD6. По спаду четвёртого импульса на входе «CP» счётчика DD6 элемент DD12.3 переключится в состояние логической единицы, что, в свою очередь, переведёт выходы ИМС ЭСППЗУ DD13 в третье (высокоомное) состояние (см. диаграмму на рис. 2: фронт OE). Спад пятого импульса на входе «CP» счётчика DD6 приведёт к переключению выходов буферного регистра DD16 в активное состояние (см. диаграмму на рис. 2: спад SL). Разнесение по времени моментов включения и выключения выходных каскадов буферного регистра DD16, и ЭСППЗУ DD13 необходимо для корректной согласованной работы выходных каскадов этих микросхем. Как видно из временной диаграммы режима чтения (см. рис. 2), сначала происходит выключение выходов DD0–DD7 ЭСППЗУ DD13, затем, через 1 такт ВЧ-генератора, – включение выходов 1–8 буферного регистра DD16. Ещё через 2 такта происходит выключение выходов DD16, и ещё через 1 такт – теперь уже включение выходов DD13.

По спаду 6-го импульса на входе «CP» счётчика DD6 начинается одновременное формирование импульсов чтения (CLK2) буферного регистра DD16 и записи (CLK1) в контрольные регистры DD18–DD21. Формирование импульса записи (см. диаграмму на рис. 2: фронт CLK1) в регистры DD18–DD21 закончится на 1 такт ранее окончания формирования импульса чтения (см. диаграмму на рис. 2: второй фронт CLK2) буферного регистра DD16. В результате содержимое буферного регистра DD16 будет переписано в регистр DD18, а содержимое последнего будет последовательно переписано в регистр DD19 и так далее. После завершения цикла чтения текущей комбинации на выходе «2» (вывод 4) счётчика DD8.1 формируется отрицательный перепад, который, после ограничения длительности дифференцирующей RC-цепочкой C5R14 и инвертирования элементом DD1.3, приводит к обнулению счётчиков DD6, DD7 и установке в нулевое состояние 4-го RS-триггера ИМС DD2. Низкий логический уровень с его выхода приводит к блокировке работы ВЧ-генератора, собранного на элементах DD3.3, DD3.4. На

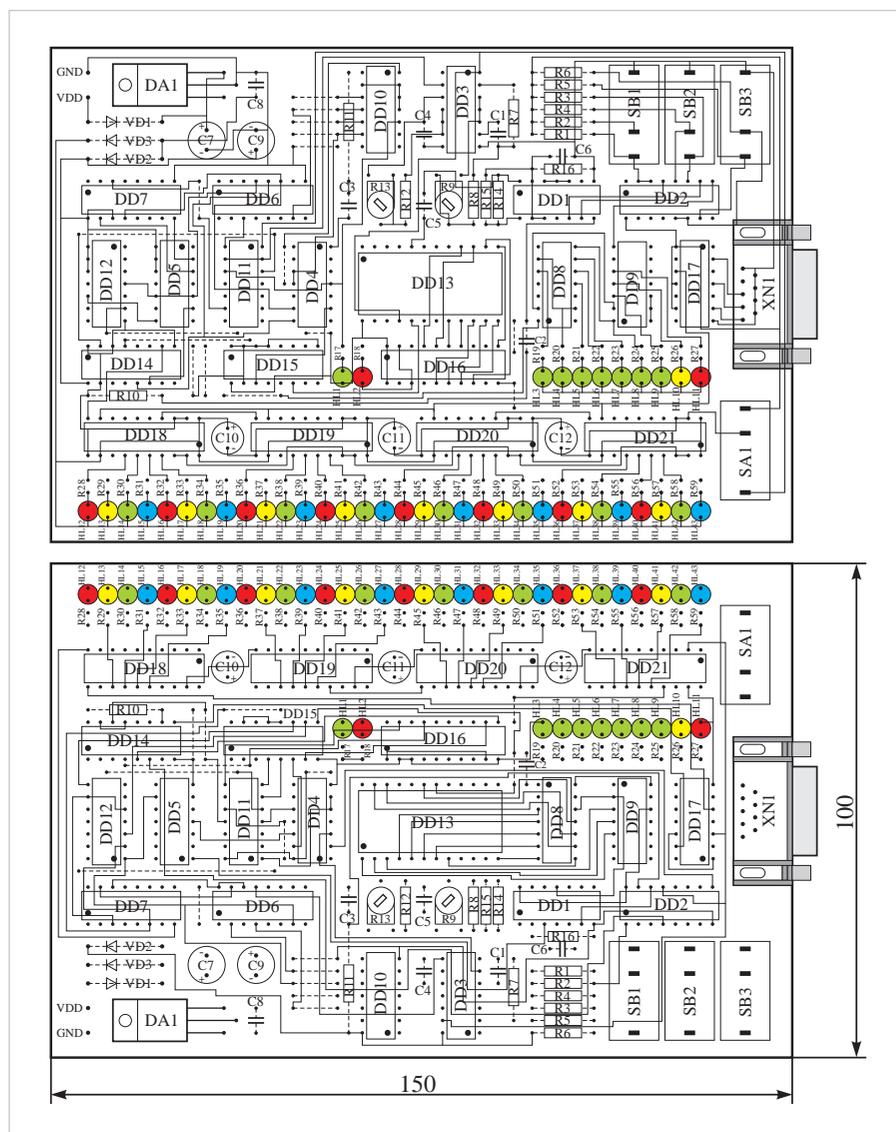


Рис. 3. Программируемое 32-канальное светодинамическое устройство. Рисунок печатной платы

выходе элемента DD3.4 устанавливается постоянный уровень логического нуля. Одновременно уровень «нуля», с выхода «4Q» (вывод 13) четвёртого RS-триггера DD2, переводит в активное состояние выходы контрольных DD18–DD21 и выходных DD23, DD25, DD27, DD29 регистров и разрешает индикацию текущей светодинамической комбинации. При этом на выходах регистров зафиксируется кодовая комбинация и, до момента очередного положительного перепада импульса на выходе НЧ-генератора, будет отображаться на линейке светодиодов.

Конструкция и детали

Основной контроллер собран на печатной плате размерами 100×150 мм (рис. 3), а выходные регистры – 25×80 мм (рис. 4) из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм с двухсторонней металлизацией. Соединения,

показанные штриховой линией, выполняются тонким многожильным проводом в изоляции.

В устройстве использованы постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, переменные – СП3-38б, конденсаторы К10-17 (C1–C6, C8), К50-35 (C7, C9–C16); светодиоды – сверхъяркие, четырёх цветов, на основной плате контроллера – диаметром 3 мм, а в выносной гирлянде – 10 мм типа КИПМ-15, размещённые в чередующейся последовательности. Возможны, конечно, и другие варианты сочетания светоизлучающих элементов. Для управления более мощной нагрузкой, например, лампами накаливания или гирляндами параллельно включённых светодиодов выходные регистры необходимо дополнить транзисторными или симисторными ключами. Защитный диод VD1 и развязывающие (VD2, VD3) могут быть любыми кремниевыми

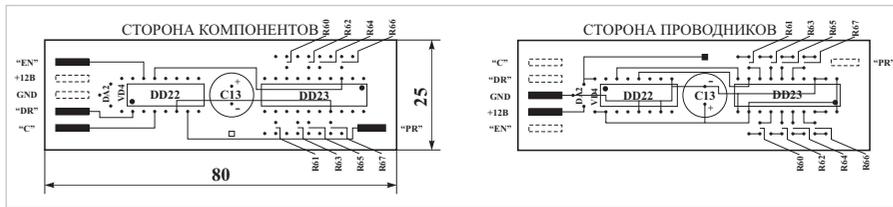


Рис. 4. Программируемое 32-канальное светодиодное устройство. Рисунок печатной платы выходного регистра

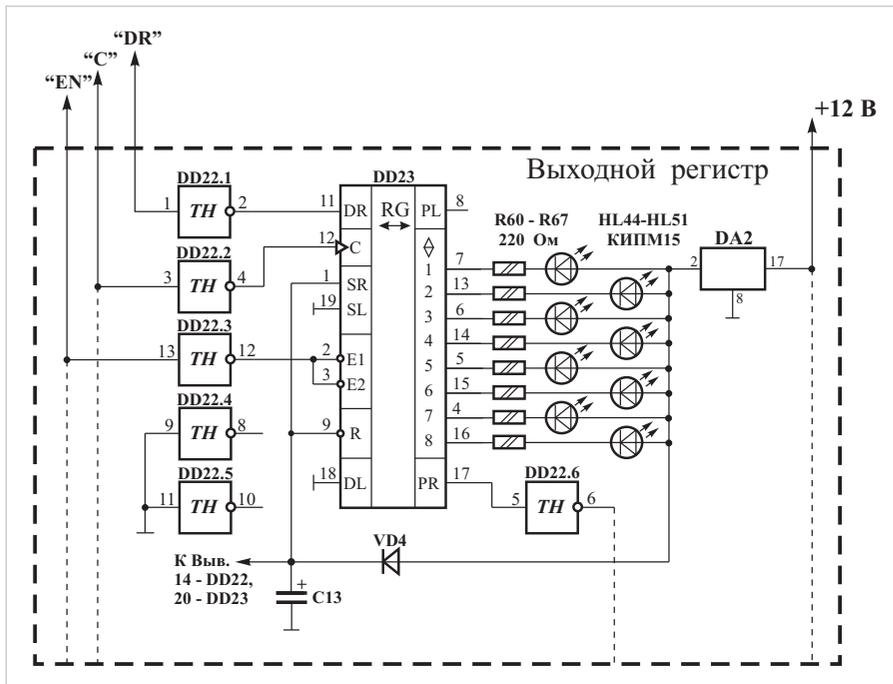


Рис. 5. Программируемое 32-канальное светодиодное устройство. Схема электрическая принципиальная выходного регистра

средней мощности. Кнопки SB1–SB3, типа KM1-1, и переключатель, типа MT-1, распаиваются непосредственно на плате контроллера. Для них предусмотрены отверстия соответствующей конфигурации.

Микросхемы выходного регистра (DD22–DD29, см. рис. 5), управляющие выносной гирляндой световых элементов, как отмечалось выше, подключаются к основной плате контроллера витыми парами проводов. Их включение (с учётом дополнительных инвертирующих триггеров Шмитта) аналогично ИМС DD18–DD21 контрольного регистра (см. рис. 1), но данные с выхода переноса «PR» последней ИМС DD29 выходного регистра не используются, поскольку выходной регистр работает только в режиме приёма (загрузки, но не считывания) информации. Питание выносной гирлянды световых элементов, как и основного контроллера, осуществляется от отдельного стабилизированного источника напряжением 12 В. Ток, потребляемый устройством, не превышает 600 мА (это пиковое зна-

чение при одновременном свечении всех светодиодов), а при использовании ИМС KP1533IP24 – не превышает 750 мА. Поэтому источник питания должен обладать соответствующей нагрузочной способностью. Рекомендуется использовать источник питания с минимальным током нагрузки не менее 1А, особенно для питания выходных (удалённых) регистров. Это позволит уменьшить амплитуду сигнала помехи, наводимой по цепи питания на сигнальные цепи микросхем регистров.

Как упоминалось ранее, данные в выходной регистр (DD23, DD25, DD27, DD29) передаются по сигнальным линиям последовательного интерфейса: «Данные» и «Синхронизация». Следует обратить внимание, что в качестве буферных трансляторов на основной плате контроллера используются именно элементы микросхемы KP1554 ТЛ2 (74АС14), а не KP1564 ТЛ2 (74НС14), поскольку только первая из них способна обеспечить большой выходной ток (до 24 мА) и непосред-

ственно управлять ёмкостной нагрузкой. При небольшой длине линии (до 10 м) частота синхронизирующих импульсов задаётся максимальной (100 кГц), и движок подстроечного резистора R13 устанавливается в положение, соответствующее минимальному сопротивлению. При значительном увеличении длины линии (более 10 м) возрастает амплитуда сигнала помехи, индуцируемой в сигнальных линиях смежными проводниками. Если амплитуда помехи превысит пороговое значение напряжения переключения входных триггеров Шмитта (с учётом гистерезиса), может произойти сбой передачи данных. Для исключения такой ситуации при работе контроллера на линии относительно большой длины (от 10 до 100 м), возможно, потребуется несколько уменьшить частоту ВЧ-генератора резистором R13. Скорость загрузки светодиодных комбинаций при этом снизится, но визуального отличия в работе устройства не будет, поскольку эффект мерцания светодиодов полностью маскируется сигналом «Разрешение индикации». Даже при минимально возможной частоте ВЧ-генератора (20 кГц) максимальное время обновления светодиодной комбинации составит $400 \text{ мкс} \times 32 \text{ импульса} = 12800 \text{ мкс}$ (12,8 мс), что соответствует частоте регенерации около 78 Гц. Такая частота близка к эргономичному значению 85 Гц.

Регистры DD16, DD18–DD21 типа KP1564IP24 (прямой аналог 74НС299), используемые на основной плате контроллера, можно заменить KP1554IP24 (74АС299), а в крайнем случае и KP1533IP24. Поскольку микросхемы KP1533IP24 (SN74ALS299) ТТЛШ-структуры и потребляют достаточно большой ток даже в статическом режиме (около 35 мА), в удалённых (выходных) регистрах рекомендуется использовать микросхемы КМОП-структуры типа KP1564IP24 (74НС299). На основной же плате контроллера возможно использование регистров любой из серий KP1554, KP1564 или KP1533. При отсутствии ЭСППЗУ AT28C16-15PI можно использовать ОЗУ статического типа KP537PY10 (PY25). При этом, если есть необходимость в длительном хранении управляющей программы, нужно использовать источник резервного питания напряжением 3 В, состоящий из двух элементов типа LR03 (AAA), который включается через развязыва-

ющий германиевый диод типа Д9Б, как показано в [1].

Интегральный стабилизатор DA1 (КР142ЕН5Б) при указанных на схеме номиналах токоограничительных резисторов R17–R59 в радиаторе не нуждается, но если суперъярких светодиодов в распоряжении не окажется, можно использовать и обычные, стандартной яркости. При этом номиналы резисторов R17–R59 нужно уменьшить в три-четыре раза, а стабилизатор установить на радиатор площадью не менее 100 см². Напряжение питания как основной платы контроллера, так и выходных регистров может быть выбрано в диапазоне 9–15 В, но при его увеличении следует помнить, что мощность, рассеиваемая на ИМС стабилизаторов, возрастает пропорционально падающему на них напряжению. Частоту переключения светодиодных комбинаций можно изменять подстройкой резистора R9, а скорость загрузки, при работе на очень длинные линии, – R13.

Методика программирования

Подготовка устройства к работе заключается в занесении светодинамических комбинаций в память ЭСППЗУ с помощью кнопок SB1–SB3. Возможен и альтернативный вариант: записать управляющую программу, сформированную, например, по методике, рассмотренной в [4], с помощью стандартного программатора, а затем установить ИМС ЭСППЗУ в панельку, предварительно распаянную на плате устройства.

В качестве примера рассмотрим программирование эффекта бегущего огня. Будем считать, что до нача-

ла программирования питание было отключено.

Пример 1. Эффект «Бегущий огонь»

Включить питание. Светодиоды HL3–HL11 светиться не должны (счётчики DD8.1, DD8.2, DD9.1 – в нулевом состоянии). Режим программирования индицирует красный светодиод HL2.

Однократно нажать кнопку SB1. Контролировать включение светодиода HL12.

Однократно нажать кнопку SB3. (При этом произойдёт запись текущей комбинации с одновременным обновлением содержимого контрольных регистров DD18–DD21.)

Однократно нажать кнопку SB2. Контролировать погасание светодиода HL12 и включение HL13.

Однократно нажать кнопку SB3.

Однократно нажать кнопку SB2. Контролировать погасание светодиода HL13 и включение HL14.

Однократно нажать кнопку SB3.

Повторить до прохождения включённым светодиодом всех позиций.

В процессе программирования нажатие кнопки SB3 сопровождается изменением комбинаций двоичного кода на выходах счётчиков DD8.1, DD8.2, DD9.1, которые отображает линейка светодиодов HL3–HL11.

Ещё один пример программирования эффекта «бегущей тени» рассмотрен в [1].

Как упоминалось ранее, в устройстве заложена потенциальная возможность наращивания числа световых элементов. Благодаря этому устройство может использоваться, например, в качестве контроллера светоинформационного табло. Количество элементов гирлянды

может достигать нескольких десятков (их удобно увеличивать кратно восьми) без существенного изменения протокола последовательного интерфейса. Необходимо лишь установить требуемое количество контрольных и выходных регистров и соответственно изменить число тактовых импульсов синхронизации. Естественно, нужно учитывать изменение диапазона адресов ЭСППЗУ, соответствующего одной светодинамической комбинации. Если нужно управлять гирляндой, число элементов которой превышает сотню, необходимо использовать дополнительные буферные регистры. При этом передача данных в буферные регистры будет производиться с более низкой тактовой частотой, а в выходные регистры, подключённые к их выходам, данные будут переписываться после завершения цикла передачи данных в буферные. Это позволит передавать большие пакеты данных по линиям последовательного интерфейса непосредственно в момент отображения текущей светодинамической комбинации. Естественно, при этом потребуется некоторое усложнение протокола.

Литература.

1. Оди́нец А.Л. Программируемое светодинамическое устройство с последовательным интерфейсом. Версия 1.0 // Радиолюбитель. 2003. № 8. С. 6.
2. Слинченков А., Якушенко В. Устройство световых эффектов // Радио. 2000. № 1. С. 32–35.
3. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. Л.: Энергоатомиздат, 1986. С. 76–77.
4. Оди́нец А.Л. Светодинамическое устройство с последовательным интерфейсом // Радиомир. 2003. № 12. С. 16.



НОВОСТИ МИРА

США вводят новые санкции против Китая в сфере квантовых технологий: причины и последствия

Министерство торговли США включило 37 китайских организаций, работающих с квантовыми технологиями, в список организаций, контролируемых экспортными правилами, что ограничивает доступ этих организаций к американским ресурсам.

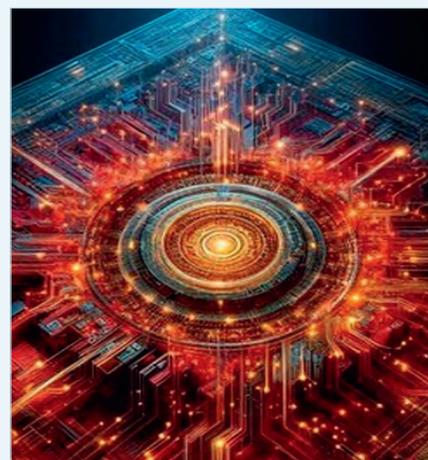
Компании попали под санкции из-за их участия в исследованиях квантовых вычислений, которые считаются угрожающими национальной безопасности США, или из-за прошлогоднего инцидента с воздушным шаром-шпионом.

22 компании из списка связаны с китайским правительством в области продвижения квантовых исследований или попыток приобретения американских технологий для квантовых вычислений.

Ещё 11 компаний оказались в списке из-за связи с китайским воздушным шаром, обнаруженным в воздушном пространстве США в прошлом году.

Четыре компании предположительно искали квантовые технологии для использования в военных беспилотных авиационных системах.

industry-hunter.com



Альтернативный ремонт пылесосов фирмы Dyson в условиях санкций

Антон Черепнёв (АО «НИИВК имени М.А. Карцева»)

Статья может быть полезна сервисным центрам, а также специалистам по ремонту бытовой техники, сталкивающимся с трудностями приобретения запасных частей от покинувших рынок РФ компаний.

Идея написания данной статьи возникла после проведения успешного и недорогого ремонта пылесоса фирмы Dyson при возникших сложностях с приобретением запасных частей в условиях санкций. В данном случае при диагностике устройства было установлено, что неисправна турбощётка, в которой вышел из строя электродвигатель. Поиск новой щётки взамен вышедшей из строя не увенчался успехом, поскольку она была снята с производства и отсутствовала в продаже. Многочисленные обращения в сервисные центры по вопросу приобретения и замены оригинального электродвигателя показали, что на складах он отсутствует, при этом сроки его поставки невозможно определить – и всё это при очень высокой стоимости как самого двигателя, так и его доставки, что делало бы ремонт нецелесообразным.

Поиск аналога оригинального электродвигателя привёл к единственному варианту: модель китайского производителя сравнительно невысокой цены, которая имела такие же габаритные характеристики и крепёжные отверстия, но отличалась электрическими параметрами: оригинальный электродвигатель имел напряжение питания 220 В постоянного тока, а аналог – 120 В переменного тока. Поскольку в турбощётке уже стояла плата выпрямителя

переменного тока 220 В в постоянный, возникла идея её переделки в подходящую для единственного доступного аналога – электродвигателя китайского производства.

После рассмотрения различных вариантов схемотехнических решений в качестве основы для модификации автором была выбрана хорошо зарекомендовавшая себя схема симисторного регулятора мощности (диммера) на 2 кВт и 220 В [1]. Диммеры – это электронные регуляторы мощности нагрузки, которые широко используются в промышленности для плавного регулирования скорости вращения электродвигателей, частоты вращения вентиляторов, температуры нагревательных приборов (ТЭНов), интенсивности освещения помещений электрическими лампами, установки необходимого сварочного тока, регулировки зарядного тока аккумуляторных батарей и т.п. Их можно использовать для изменения в небольших пределах оборотов дрели, болгарки, сверлильного станка. Также благодаря широкому диапазону регулировки и большой мощности регулятор нашёл широкое применение в быту [2].

Принцип работы диммера заключается в пропускании тока только в определённые промежутки времени, т.е. часть синусоиды переменного тока редуцируется. Подходящий вари-

ант диммера, изображённого на рис. 1, имеет следующие основные характеристики [3]:

- входное напряжение от 110 В до 220 В переменного тока;
- максимальная мощность 2 кВт;
- регулируемое напряжение на выходе от 50 В до 220 В;
- потеря мощности на регуляторе: не более 1%;
- диапазон регулирования: от 15% до 100%;
- в рабочем режиме сила тока на выходе до 9 А.

Резисторами R1 и R2 на рис. 1 устанавливается напряжение на выходе диммера. Расчёт показал, что при установке необходимого выходного напряжения 120 В в данном случае достаточно вместо резисторов R1–R3 установить один номиналом 240 кОм мощностью 0,125 Вт, R4 мощностью 0,25 Вт, а по входу линии L в разрыв установить предохранительное устройство со старой платы. Таким образом, схема будет выглядеть, как на рис.2.

Все электронные компоненты в соответствии со схемой (рис. 2) были размещены на макетной плате, вырезанной с шириной 25 мм и длиной 85 мм в точном соответствии со старой платой выпрямителя, поскольку крепится она в корпусе на защёлках. Можно изготовить печатную плату на основе одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм с разводкой в соответствии с рис. 3. В качестве дополнительной опоры для верхней крышки турбощётки использован электролитический конденсатор со старой платы выпрямителя, установленный на термоклей.

На выводы входа подаётся питание с пылесоса, а к выводам выхода

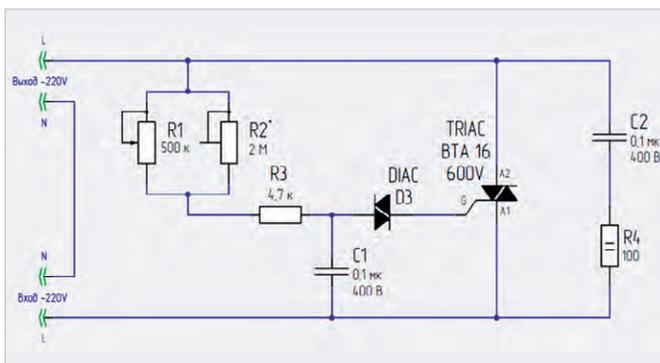


Рис. 1. Вариант схемы диммера

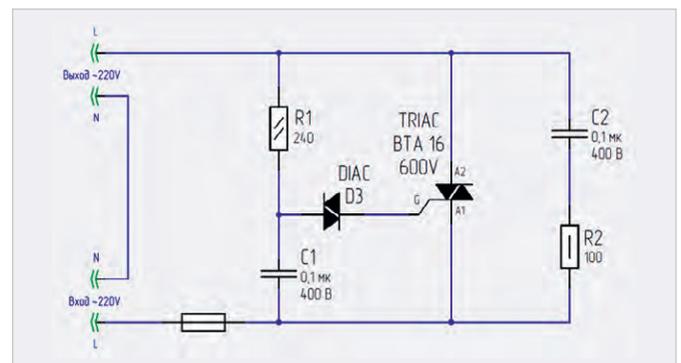


Рис. 2. Модифицированная схема диммера для турбощётки

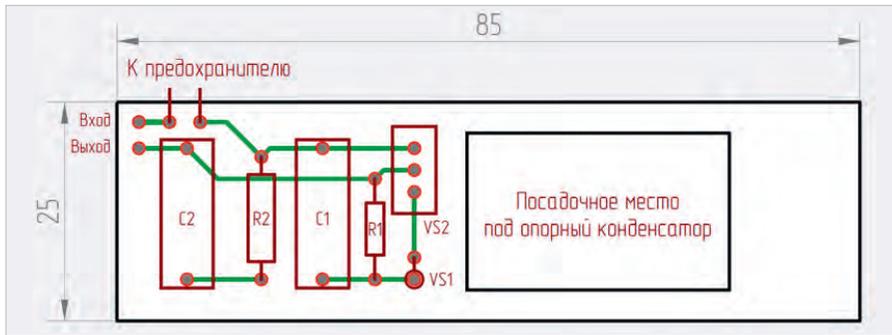


Рис. 3. Разводка платы с обратной стороны

подключён новый электродвигатель. На рис. 4 показан результат всей проделанной работы.

На рис. 5 изображена форма напряжения, измеренная осциллографом на электродвигателе турбощётки, где хорошо видно, как диммер отсекает части синусоиды. При 120 В на электродвигателе фактически остаются «половинки» синусоиды в каждом полупериоде.

Заключение

Проведённые испытания пылесоса с турбощёткой после ремонта не выявили каких-либо дефектов в его работе. К достоинствам данного альтернативного ремонта можно отнести следующее:

- простота и надёжность данного схемотехнического решения;
- невысокая стоимость электродвигателя и электронных компонентов;
- отсутствие необходимости во внесении конструктивных модификаций.

Литература

1. Симисторный регулятор мощности своими руками. URL: <https://fb.ru/article/427968/simistornyy-regulyator-moshchnosti-svoimi-rukami> (дата обращения: 28.03.2024).
2. Евсеев Ю.А., Крылов С.С. Симисторы и их применение в бытовой электроаппаратуре. М.: Энергоатомиздат, 1990. С. 120.
3. Регулятор мощности (диммер) до 2 кВт на симисторе ВТА16-600. URL:

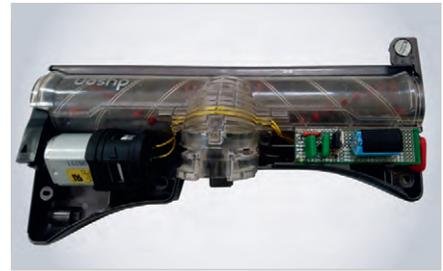


Рис. 4. Вид турбощётки Dyson без верхней крышки с новым электродвигателем и платой

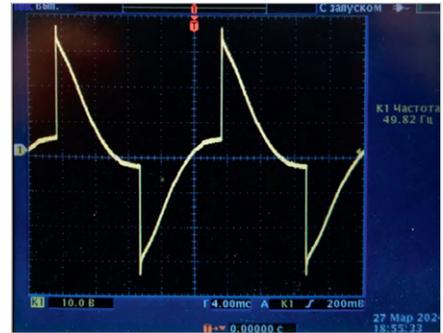


Рис. 5. Осциллограмма на электродвигателе турбощётки

<https://klmaster.com/catalog/regulyator-moshchnosti-simistornyy-na-2000w-454> (дата обращения: 28.03.2024).







SATADOM — ИДЕАЛЬНОЕ ЗАГРУЗОЧНОЕ РЕШЕНИЕ

Компактные твердотельные накопители с интерфейсом SATA III с высокой скоростью передачи данных

PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Реклама

Обзор основных возможностей инструмента SimPCB для расчёта параметров линий передач в программе Delta Design

Вячеслав Кухарук, Виктор Ухин, Ольга Смирнова (компания «ЭРЕМЕКС»), Дмитрий Коломенский (Центр технологий материалов, Сколковский институт науки и технологий)

В статье рассматриваются основные возможности инструмента SimPCB в составе Delta Design. Выделяются его преимущества над аналогичными программными реализациями.

Одним из ключевых элементов в конструкции печатной платы (ПП) является линия передачи (ЛП). Это система прямых и возвратных проводников, расположенных в непосредственной близости друг от друга и формирующих единое электромагнитное поле. Управление параметрами ЛП на ПП позволяет минимизировать потери, связанные с деградацией целостности сигналов и ЭМС [1].

Для обеспечения надёжной работы высокоскоростных и высокочастотных электронных устройств необходимо контролировать параметры ЛП. ЛП – это не только сигнальный трек, расположенный на одном слое, внешнем или внутреннем, как представляют его большинство систем автоматизированного проектирования (САПР), но и контактные площадки (КП) компонентов, переходные отверстия (ПО). Параметры КП возможно учесть, представив их через обычные структуры ЛП. Это будет или микрополосковая, копланарная, или копланарная микрополосковая ЛП без маски. Расчёт ПО полностью отсутствует, а их параметры выбираются, как правило, из технологических возможностей производства. В результате межслойный переход становится неоднородностью на пути следования сигнала и может привести к серьёзному снижению его качества.

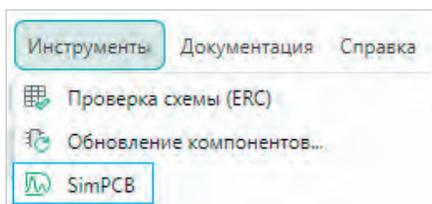


Рис. 1. Запуск инструмента SimPCB

Инструмент SimPCB, входящий в состав программы Delta Design, кардинально отличается от программ подобного назначения. SimPCB даёт возможность рассматривать ЛП более полно, так как позволяет вычислять параметры не только ЛП в привычном их понимании, но и ПО. Следует отметить ещё раз, что во всех современных зарубежных САПР печатных плат, таких как Altium Designer, PADS, VX и другие, расчёт первичных и вторичных электрических параметров межслойных переходов нереализован, что в значительной степени может негативно повлиять на качество разработки, особенно высокочастотных устройств.

Запуск SimPCB в программе Delta Design осуществляется через меню **Инструменты** (рис. 1) в редакторах схемы или платы.

Инструмент состоит из следующих основных функциональных областей (рис. 2):

1. Выбор типа ЛП. Доступно четыре типа: одиночная, дифференциальная, копланарная одиночная, копланарная дифференциальная.
2. Список ЛП в группе. На текущий момент времени доступно 104 (с учётом перевернутого проводника) структуры для расчёта.
3. Описание выбранной ЛП. Здесь же располагается опция: перевернуть проводник и тем самым имитировать положение ядра (основания диэлектрика) относительно целевого проводника (рис. 3).
4. Выбор вычисляемого параметра. Осуществляется путём активации кнопки, расположенной рядом с параметром (рис. 4). По умолчанию рассчитывается волновое сопротивление одиночных (Z0) или дифференциальных (Zdiff) ЛП (зависит от выбранной структуры). При необходимости пользователь может рассчитать толщину диэлектрика (H), диэлектрическую проницаемость (Er), толщину проводника (T), ширину проводника (W), зазор внутри дифференциальной пары (S), расстояние от проводника до опорной плоскости (D) для конкретного значения волнового сопротивления. Список

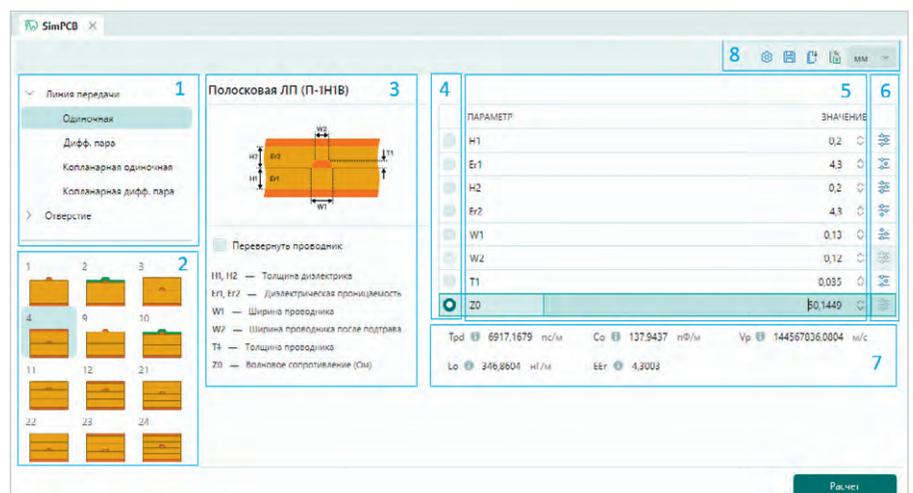


Рис. 2. Основные функциональные области инструмента SimPCB для расчёта ЛП

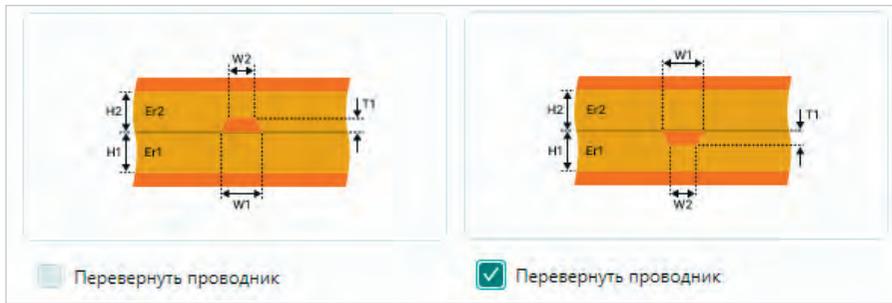


Рис. 3. Пример структуры с перевёрнутым проводником

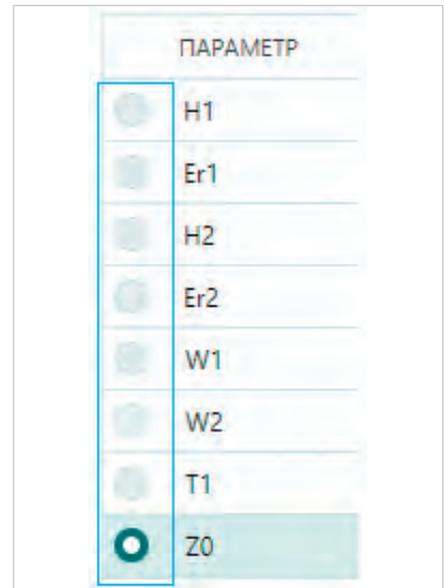


Рис. 4. Выбор параметра для расчёта

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
H1	Мин. 0,2, Макс. 1, Шаг 0,2
Er1	4,3
H2	0,2
Er2	4,3
W1	0,13
W2	0,12
T1	0,035
Z0	50,1449

H1	Z0	Trpd	Co	Vp	Lo	EEr
0,2	50,1449	6917,1679	137,9437	14456783...	346,8604	4,3003
0,4	56,098	6917,1059	123,304	14456913...	388,0356	4,3002
0,6	58,0715	6917,0821	119,1133	14456963...	401,685	4,3002
0,8	58,9677	6917,038	117,3021	14457055...	407,8819	4,3001
1	59,4498	6917,058	116,3513	14457013...	411,2174	4,3002

Рис. 5. Пример множественного расчёта

параметров зависит от выбранной структуры.

- Область ввода значений параметров структуры и отображение результата.
- Настройка множественного расчёта. SimPCB позволяет вычислять первичные и вторичные параметры ЛП в диапазоне значений одного выбранного параметра. Необходимо задать минимальное значение, максимальное и шаг. Результаты отображаются в виде таблицы, которую можно сохранить в формате .xlsx (рис. 5).
- Область отображения первичных параметров ЛП. В настоящее время дополнительно вычисляются: задержка в проводнике (Trpd), погонная ёмкость (C0), погонная индуктивность (L0), скорость распространения сигнала (Vp) и эффективная диэлектрическая проницаемость (EEr).

Для дифференциальных сигналов дополнительно рассчитывается волновое сопротивление нечётной моды (Zodd), чётной моды (Zeven) и режима общего вида (Zcomm).

- В данной секции расположена функциональность настройки допустимых значений параметров, выбор единиц измерения и сохранения расчёта. Также есть возможность открыть ранее сохранённую структуру в формате .xml и вывести результаты расчётов в формате .xlsx.
- Функциональные области для расчёта параметров ПО представлены на рисунке (рис. 6).
- В данной секции осуществляется выбор типа ПО. В текущей версии доступно отверстие для двухслойной ПП.
- Активация/деактивация наличия опорных слоёв и маски у ПО.

- Графическое представление ПО с параметрами.
- Описание параметров.
- Область ввода значений параметров отверстия:
 - Dv – диаметр ПО;
 - Tr – толщина меди в отверстии;
 - Dr – диаметр площадки на слое;
 - Da – диаметр антипада;
 - T – толщина меди на слое;
 - H – толщина диэлектрика;
 - Er – диэлектрическая проницаемость;
 - C1 – толщина маски;
 - CEr – диэлектрическая проницаемость маски.
- Секция отображения рассчитанных первичных параметров ПО: задержка (Trpd), ёмкость (C0), индуктивность (L0), скорость распространения сигнала (Vp), волновое сопротивление (Z0).
- Настройка допустимых значений параметров, сохранение проекта и выбор единиц измерения.

Таким образом, инструмент SimPCB позволяет современному инженеру решать часть задач обеспечения целостности сигналов высокоскоростных печатных плат. Основные преимущества инструмента:

- высокая точность и скорость расчёта параметров ЛП и ПО [3];
- использование большого набора структур ЛП (104 структуры);
- учёт высоты маски и технологического подтрава проводника;
- расчёт первичных и вторичных параметров ЛП и ПО (ёмкость, индуктивность, волновое сопротивление, задержка сигнала и т.д.);

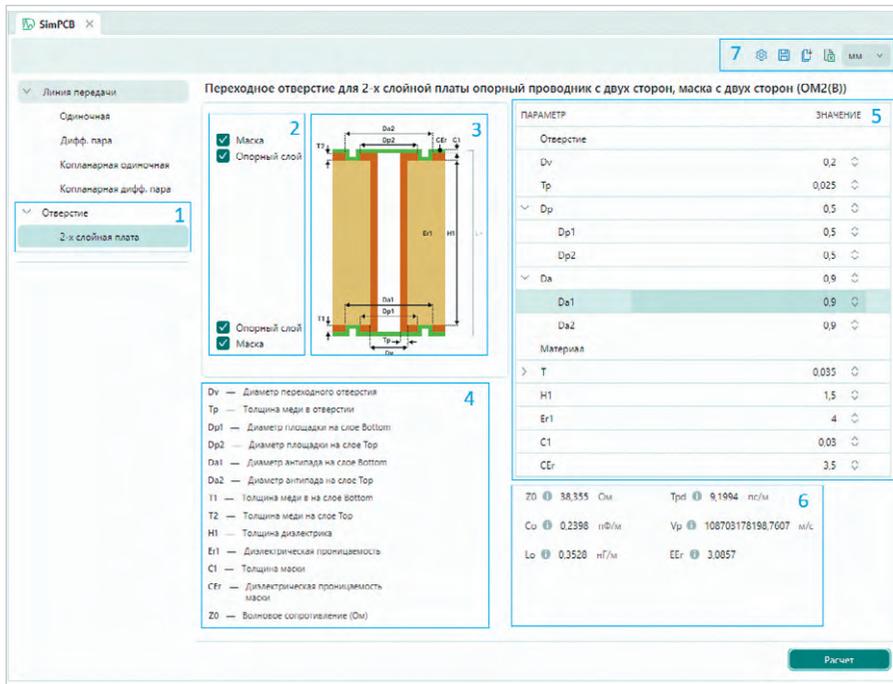


Рис. 6. Основные функциональные области инструмента SimPCB для расчёта ПО

- множественный расчёт;
- учёт различных вариантов расположения маски и опорных слоёв для ПО.

Инструмент SimPCB предоставляет возможность современному инженеру

проводить расчёты первичных и вторичных параметров ЛПП и ПО с высокой точностью. Отличительной особенностью SimPCB от подобных программных продуктов является более полный подход к представлению ЛПП. Специа-

лист имеет возможность контролировать параметры межслойного перехода, что актуально для современных печатных плат, проектировать ЛПП в которых без применения ПО становится всё сложнее.

Delta Design с инструментом SimPCB выходит на новый уровень в части проектирования высокоскоростных и высокочастотных устройств, а выбранный подход обеспечивает лидирующие позиции в части контроля параметров ЛПП, так как ни одна из САПР подобного назначения не позволяет учитывать ПО в линиях.

Литература

1. Кечиев Л.Н. Печатные платы и узлы гигабитной электроники. М.: Грифон, 2017. 57 с.
2. Методы расчёта волнового сопротивления линий передач на печатных платах / В.А. Ухин, Д.С. Коломенский, В.С. Кухарук, О.В. Смирнова // Современная электроника. 2023. № 9. С. 40.
3. Сравнение результатов расчетов волнового сопротивления линий передач на печатных платах / В.С. Кухарук, Д.С. Коломенский, В.А. Ухин, О.В. Смирнова // Современная электроника. 2023. № 9. С. 43.



НОВОСТИ МИРА

GS Group планирует разрабатывать и производить готовую технику

Российский производитель вычислительной техники GS Group переходит на модель ODM-производства, включающую разработку дизайна, закупку компонентов и производство «под ключ». В компании ожидают увеличения спроса на эти услуги из-за ужесточения требований к государственным компаниям по переходу на отечественное оборудование. Участники рынка предполагают, что на начальном этапе стоимость заказов в России будет на 20–30 % выше, чем у китайских производителей, но цены могут снизиться при полной загрузке производственных мощностей.

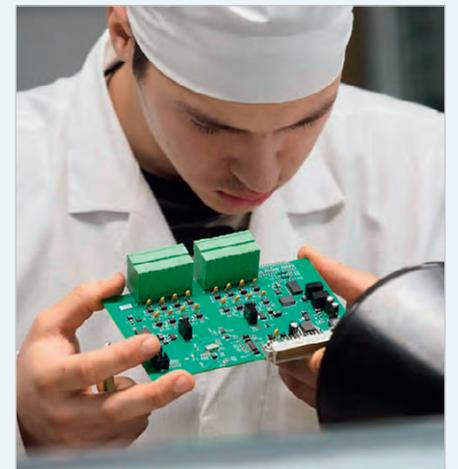
В калининградской GS Group сообщили, что они переквалифицировали своё производство в ODM, то есть стали Original Design Manufacturer, моделью, в которой завод самостоятельно разрабатывает и производит продукт согласно техническому заданию. GS Group будет предоставлять услуги по разработке конструкторской документации, подбору комплектующих, монтажу пе-

чатных плат и другим процессам. Компания также готова регистрировать продукцию заказчика в реестре Минпромторга, предоставляющем преференции на государственных закупках и налоговые льготы.

По словам коммерческого директора GS Group Максима Остроумова, инвестиции в расширение мощностей для запуска ODM за последние пять лет составили около 1,1 миллиарда рублей. Производство планируется осуществлять на существующих мощностях GS Group, а при необходимости будут использоваться партнёрские мощности. Имена партнёров не разглашаются.

До сих пор GS Group выступала только как контрактный производитель по монтажу компонентов на платы и сборке оборудования, отмечает исполнительный директор Ассоциации разработчиков и производителей электроники (АРПЭ, в которую входят компании «Резонит», «Эрикон», «Атол» и другие) Иван Покровский. ODM включает разработку, закупку компонентов и предоставление производственных услуг. Только оптимизация этих трёх процессов может обеспечить преи-

мущества в цене и качестве. Разработка предполагает наличие готовых платформенных решений, адаптируемых под потребности заказчиков.



Эксперт добавляет, что ведущие российские производители вычислительной техники, такие как Yadro, «Аквариус» и Fplus, имеют собственные производства, поэтому для привлечения крупных заказчиков GS Group должна эффективно организовать работу своих подразделений как в разработке, так и в снабжении компонентами.

www.kommersant.ru

Учёт и оценка влияния параметров переходного отверстия на передачу высокочастотного сигнала

Виктор Ухин, Вячеслав Кухарук, Ольга Смирнова (компания «ЭРЕМЕКС»), Дмитрий Коломенский (Центр технологий материалов, Сколковский институт науки и технологий)

В статье оценивается влияние переходного отверстия на потери сигнала в линии передачи. Оценка выполняется с помощью расчёта коэффициентов S-матрицы. Подчёркивается необходимость реализации вычисления первичных и вторичных параметров межслойного перехода непосредственно в САПР печатных плат.

Без контроля ёмкости, индуктивности и импеданса линий передач практически невозможно спроектировать современное электронное устройство. Это характерно для всех видов аппаратуры.

Когда говорят о линиях передачи, реализованных на печатной плате, то часто подразумевают опорный слой и проводник определённого поперечного сечения в среде диэлектрика (рис. 1) [1, 2].

На рисунке выше представлен «идеальный» случай, когда сигнальная линия размещена только на одном слое. Такая конфигурация не всегда реализуема, особенно на печатных платах высокой плотности (HDI). В HDI-устройствах трасса, по которой распространяется высокочастотный сигнал, может располагаться на разных слоях и совершать переход через отверстия.

Инженер контролирует параметры проводника, но игнорирует межслойный переход. Часто его выбирают из соображения технологичности и возможности размещения. В результате появляются искажения сигнала, так как линия становится несогласованной.

В статье оценим влияние межслойного перехода в линии передачи на потери, выполнив моделирование в модуле HFSS 3D Layout программы Ansys [3]. Проводник представим как двухпортовую систему (рис. 2) и вычислим коэффициенты S11, S21 для линии с отверстием и без него в частотном диапазоне от 1 ГГц до 10 ГГц.

Коэффициенты S11 и S21 рассчитываются по выражениям:

- $S_{11} = b_1/a_1$, при $a_2=0$ (1)
- $S_{21} = b_2/a_1$, при $a_2=0$ (2)

где a_1 – напряжение падающей волны, b_1 – напряжение отражённой волны, b_2 – напряжение волны, вышедшей из Port 2.

Пусть длина линии составляет 40 мм, а импеданс 50 Ом. Структура печатной платы, для которой выполняется расчёт, показана на рис. 3.

Конструкция состоит из трёх слоёв. Сделано это специально для того, чтобы обеспечить один возвратный слой как для стороны Top, так и для стороны Bottom.

Рассмотрим случай, когда проводник располагается только на одной стороне печатной платы. Его ширина для соответствия импедансу в 50 Ом при диэлектрической проницаемости материала, равной 4, составляет 0,88 мм. Модель для расчёта представлена на рис. 4. На рис. 5 показан результат расчёта.

Коэффициент S11 у трассы на всём частотном диапазоне не превышает – 25 дБ, а S21 – 2 дБ на частоте 10 ГГц.

Проведём подобный расчёт для проводника с отверстием. Пусть 20 мм линии с волновым сопротивлением 50 Ом располагаются на первом слое, а оставшиеся 20 мм – на третьем. Модель представлена на рис. 6.

Коэффициенты S11 и S21 для линии передачи с межслойным переходом будут сопоставимы для линии без отверстия только в том случае, если импеданс перехода примет значение 50 Ом.

Отверстие, как неоднородность, можно представить в двух вариантах. Первый – единое целое, состоящее из отверстия и двух частей проводника без опорного слоя или с опорным (зависит от размера антипада) (рис. 7).

Второй – сумма неоднородностей, образованных непосредственно переходным отверстием и двумя частями проводника. При этом, если под частями трассы отсутствует опорный слой, то её импеданс в этом месте будет выше 50 Ом. Соответственно, для согласования всей неоднородности волновое сопротивление самого

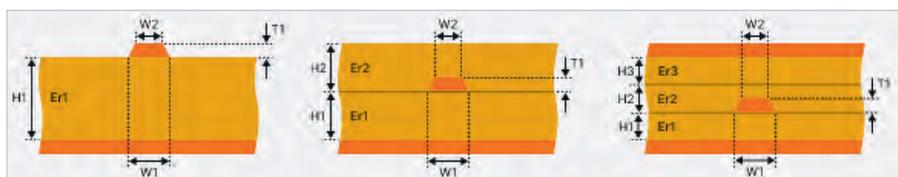


Рис. 1. Некоторые виды линий передач

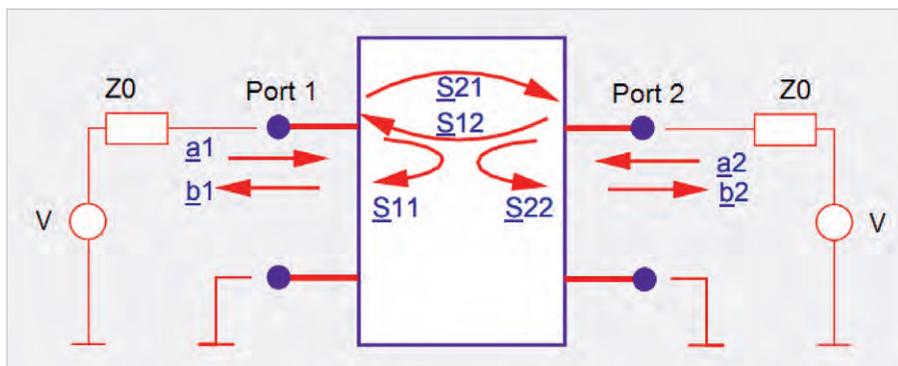


Рис. 2. Двухпортовая система

	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	Name	Type	Material	Dielectric Fill	Thickness
—	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	Top	signal	copper	FR4	0.035mm
▨	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	d1	dielectric	FR4	FR4	0.4475mm
—	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	int1	signal	copper	FR4	0.035mm
▨	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	d2	dielectric	FR4	FR4	0.4475mm
—	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	Bottom	signal	copper	FR4	0.035mm

Рис. 3. Структура печатной платы



Рис. 4. Модель для расчёта

межслойного перехода должно быть меньше 50 Ом.

Рассмотрим случай, когда антипад равен размеру площадки отверстия. Такое исполнение межслойного перехода позволит сохранить полигон целым под всей трассой. Пусть диаметр отверстия составляет 0,6 мм, а площадки 1,0 мм. Площадка на втором слое отсутствует. Данный переход можно встретить достаточно часто в проектах печатных плат. Результат расчёта показан на рис. 8.

Из графика видно, что с увеличением частоты S11 возрастает и на 10 ГГц составляет -15 дБ. S21 на максимальной частоте имеет значение около 4 дБ. Результат значительно отличается от линии передачи без отверстия.

Теперь оценим ёмкость и волновое сопротивление данного межслойного перехода. Сделаем это в модуле Q3D Extractor программы Ansys [4]. Модель для расчёта представлена на рис. 9.

Ёмкость данного перехода составляет 346 фФ, а импеданс 16 Ом. Линия передачи несогласована, поэтому результат так отличается от первого расчёта.

Уменьшим переходное отверстие. Пусть диаметр составляет 0,3 мм, площадка 0,85 мм и присутствует только на первом и третьем слое. В этом случае ёмкость будет 254 фФ, а импеданс 21 Ом. Коэффициенты S11 и S21 в зависимости от частоты для этого случая показаны на рис. 10.

Коэффициент S11 растёт с увеличением частоты и при 10 ГГц составляет -23 дБ, S21 около 2,5 дБ. В сравнении с первым случаем результат улучшился, так как увеличился импеданс неоднородности. Надо отметить, что дальнейшее повышение волнового сопротивления, при условии равенства размера антипада площадке, практически невозможно. Поэтому рассмотрим следующий случай.

Пусть диаметр отверстия составляет 0,6 мм, площадка 0,85 мм, антипад 1,5 мм. Площадка на втором слое у отверстия отсутствует. Рассчитаем ёмкость и волновое сопротивление модели (рис. 11).

Данная конструкция отличается от представленной на рис. 9. Она включа-

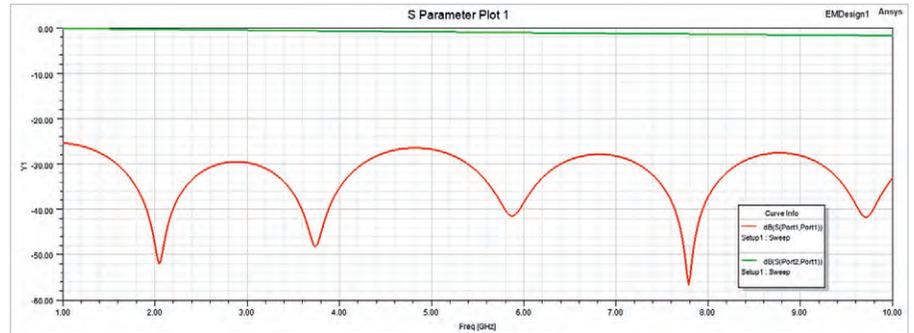


Рис. 5. S11 и S21 для линии с волновым сопротивлением 50 Ом без отверстия

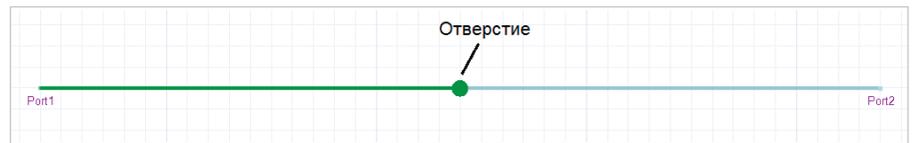


Рис. 6. Линия передачи с отверстием

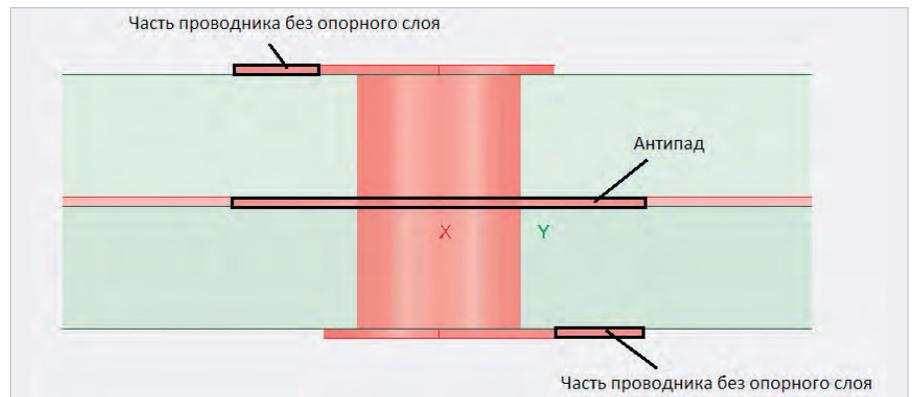


Рис. 7. Модель переходного отверстия

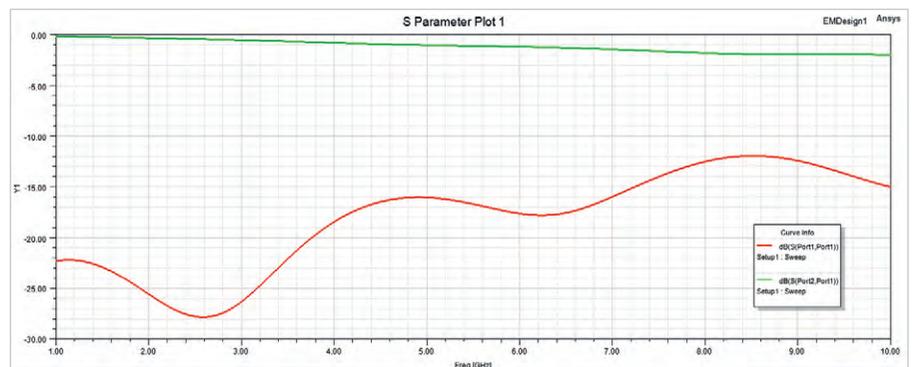


Рис. 8. Коэффициенты S11 и S21 для линии с отверстием диаметром 0,6 мм и площадкой 1,0 мм

ет в себя две части проводника, расположенные под антипадом. Ёмкость такой конструкции 297 сФ, импеданс 45 Ом. При этом импеданс только переходного

отверстия составляет 25 Ом. Ниже показаны коэффициенты S11 и S21 (рис. 12).

Результат близок к линии передачи без отверстия, если не учитывать резонансы

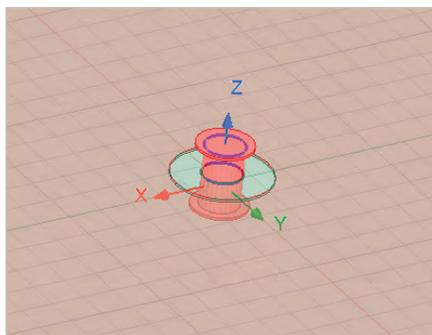


Рис. 9. Модель для расчёта ёмкости переходного отверстия

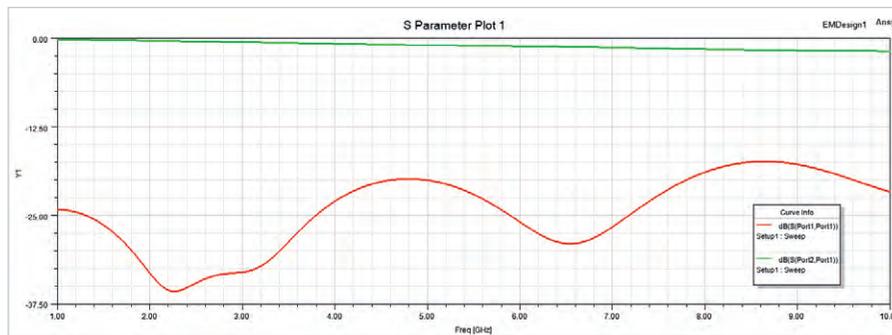


Рис. 10. Результат расчёта S11 и S21 для линии с переходным отверстием диаметром 0,3 мм и площадкой 0,85 мм

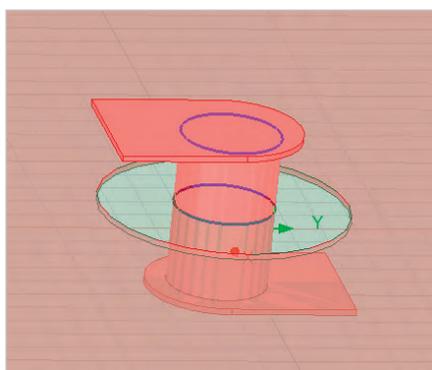


Рис. 11. Переходное отверстие с частями проводника

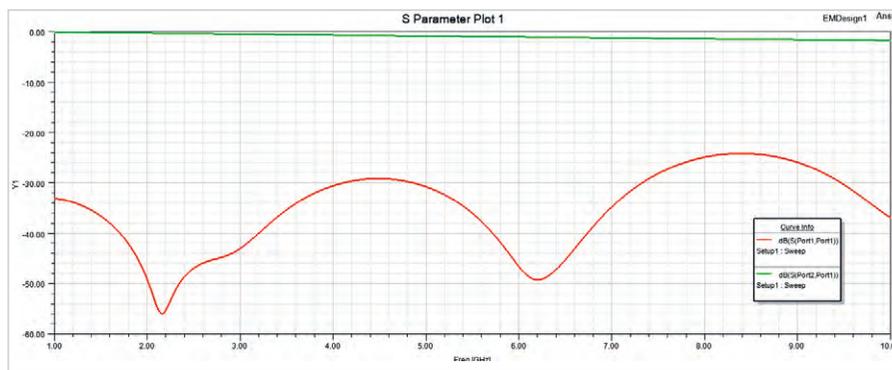


Рис. 12. Коэффициенты S11 и S21 для линии с отверстием диаметром 0,6 мм, площадкой 0,85 мм и антипадом 1,5 мм

Таблица 1. Результаты вычислений

Диаметр отверстия, мм	Диаметр площадки, мм	Диаметр антипада, мм	Ёмкость, фФ	Импеданс, Ом	Общий результат
0,6	1	1	346	16	Наихудший
0,3	0,85	0,85	254	21	Средний
0,6	0,85	1,5	297	45	Наилучший

нансных явлений, так как трасса получилась практически согласованной. S11 на всём частотном диапазоне не превышает -22 дБ, а на максимальной частоте составляет -42 дБ. Коэффициент S21 не более 2,5 дБ. В табл. 1 представлены результаты расчёта для всех трёх случаев.

Проведённый анализ показывает, что при проектировании высокочастотных устройств возникает необходимость рассчитывать, контролировать и управлять

первичными параметрами межслойного перехода. Логично, если все вышеперечисленные операции будут выполняться в САПР печатных плат. Однако в настоящее время данный функционал в них отсутствует. Разработчик вынужден ориентироваться на «тяжёлые» средства 3D-моделирования при условии их доступности и владения необходимыми знаниями, навыками. В результате чаще всего выбор межслойного отверстия для

высокочастотного сигнала инженер осуществляет, ориентируясь на свой опыт, что в конечном счёте снижает качество проектируемого изделия.

Литература

1. Методы расчёта волнового сопротивления линий передач на печатных платах / В.А. Ухин, Д.С. Коломенский, В.С. Кухарук, О.В. Смирнова // Современная электроника. 2023. № 9. С. 40.
2. Сравнение результатов расчётов волнового сопротивления линий передач на печатных платах / В.С. Кухарук, Д.С. Коломенский, В.А. Ухин, О.В. Смирнова // Современная электроника. 2023. № 9. С. 43.
3. Ansys. HFSS 3D Layout Help.
4. Ansys. Q3D Extractor Help.



НОВОСТИ МИРА

OpenAI анонсировала бесплатную языковую модель GPT-4o, а также отдельное приложение ChatGPT для Mac

OpenAI представил ряд обновлений для ChatGPT, включая приложение для ПК, улучшенный пользовательский интерфейс и новую мощную языковую модель. Пользователи Mac с подпиской Plus полу-

чают ранний доступ к новому настольному приложению ChatGPT, а в скором времени доступ станет более широким. Версия для Windows запланирована на конец этого года.

«Мы анонсируем GPT-4o, нашу новую флагманскую модель, которая может анализировать звук, изображение и текст в режиме реального времени».

[ixbt.com](https://www.ixbt.com)



Поле атмосфериков на фоне сейсмической активности при различной геофизической обстановке (экспериментальные данные)

Алексей Галахов

В статье приводятся экспериментальные данные АЧХ поля атмосфериков (п. а.), зарегистрированных на авроральных обсерваториях ПГИ Ловозеро (Мурманская обл.) и Баренцбург (арх. Шпицберген), и характеристики явлений, включая сейсмические данные, которые характеризуют геофизическую активность: солнечные вспышки X-Ray Flux (GOES), магнитограммы магнитного поля Земли, показания нейтронного монитора (космические лучи) и сейсмические данные норвежской сети NORSAR.

В качестве приёмно-регистрирующей аппаратуры поля атмосфериков на обсерваториях использовался приёмник ОНЧ-диапазона (400÷7500 Гц) с рамочной антенной на входе и последовательный анализатор спектра. Используемая аппаратура была разработана в ПГИ на основе программируемых аналоговых (AN221E04) и цифровых (PIC18F452) интегральных микросхем, что дало возможность получать высокую точность обработки аналоговых сигналов (не хуже 1%) и позволило сопоставлять результаты регистрации, выполненные в разных точках наблюдений, с численным моделированием процессов в нижней ионосфере Земли.

Представленная работа, основанная на архивных экспериментальных данных, полученных на двух авроральных обсерваториях ПГИ Баренцбург, Ловозеро и норвежской сейсмической сети NORSAR, является продолжением серии статей, посвящённых изучению влияния гелиогеофизических факторов на амплитудно-частотные характеристики электромагнитного поля атмосфериков.

Поле атмосфериков – это сигнал, формируемый спектром излучаемых молнией электромагнитных волн, который имеет интерференционный характер, обусловленный суперпозицией прямой волны, распространяющейся вдоль поверхности Земли, и волн, отражённых от ионосферы. Многие авторы рассматривают данный грозовой генератор, который действует за счёт молниевой активности, как основной источник естественного шумового электромагнитного поля в широком диапазоне частот [1].

Использование в экспериментальных исследованиях низкочастотных электромагнитных колебаний – атмосфериков, объясняется наличием непрерывного спектра излучения и способностью распространяться в волноводе Земля – ионосфера на большие расстояния с малым затуханием.

Спектральные характеристики поля атмосфериков (п. а.) позволяют полу-

чать информацию как о свойствах распространения радиоволн, входящих в их спектр, так и о свойствах среды распространения сигнала, какой является волновод Земля – ионосфера [2, 3].

Если в предыдущих работах [8–15] были представлены экспериментальные данные, подтверждающие широтную зависимость влияния таких факторов, как солнечная активность (корональные выбросы, широкополосное электромагнитное излучение), галактические космические лучи, вариации магнитного поля Земли на АЧХ п. а., то в этой статье перечисленные выше геофизические факторы дополнены данными сейсмической активности областей, входящих в зону регистрации поля атмосфериков.

Рассмотрено поведение спектральных составляющих атмосфериков для трёх случаев, отличающихся друг от друга как геофизической, так и сейсмической активностью: 1) obs. ПГИ Баренцбург (2023.02.03); 2) obs. ПГИ Баренцбург (2023.02.05–2023.02.06); 3) синхронная запись на двух obs. ПГИ: Баренцбург и Ловозеро (2021.12.23–2021.12.24).

В работе использованы архивные данные:

а) X-Ray Flux геостационарного спутника GOES;

б) магнитограммы магнитного поля Земли [obs. Sodankyla (67° 22'N, 26° 38'E), obs. Longyearbyen (78° 12'N, 15° 32'E)];

в) показания нейтронного монитора [Апатиты ПГИ (67.57°N, 14.22°E), obs. ПГИ Баренцбург (78.06°N, 14.22°E)];

г) магнитуда и координаты землетрясений (норвежская сеть NORSAR, <https://www.norsar.no/extranet/bulletins/>).

Для оценки пространственной избирательности поля атмосфериков приём сигнала осуществлялся с ортогональных направлений Нх–Ну на магнитные рамочные антенны [4, 5], в качестве регистратора сигнала использовался последовательный анализатор спектра ОНЧ-диапазона (400÷3600 Гц) [6, 7].

Светлый оттенок участков приведённых графиков АЧХ п. а. (рис. 1г–д, рис. 2, рис. 3д–е) отображает отрезок времени, когда область наблюдений освещена Солнцем.

Активность Солнца определялась по данным геостационарного спутника (GOES) X-Ray Flux, которые являются хорошим индикатором как мощности вспышки, так и того, что солнечная вспышка движется по направлению к Земле.

Пространственный сектор очагов землетрясений (latitude, longitude) задан в архивных данных сети NORSAR относительно координат точек приёма поля атмосфериков, увеличенный на ±15°, и магнитудой >1.2б. Для более наглядного представления на рисунках («quakes0–2») и таблицах 1–4 для координат расположения очагов землетрясений использованы цветовые оттенки: от тёмно-красных до светло-красных.

Заданные координаты очагов землетрясений относительно точек наблюдения поля атмосфериков (<https://www.norsar.no/extranet/bulletins/>):

а) для obs. ПГИ Ловозеро (67,97°N, 35,08°E):

- широта (0÷90)°N, долгота (20÷50)°E светло-красный оттенок («quakes2»);
- широта (0÷90)°N, долгота (25÷45)°E красный («quakes1»);

б) для obs. ПГИ Баренцбург (78,08°N, 14,2°E):

- широта (0÷90)°N, долгота (0÷30)°E светло-красный оттенок («quakes2»);

- широта (0÷90)°N, долгота (5÷25)°E красный («quakes1»);
- широта (68÷88)°N, долгота (5÷25)°E тёмно-красный оттенок («quakes0»).

Экспериментальные данные 1. Обс. ПГИ Баренцбург 2023.02.03

Обращает на себя внимание ионосферное возмущение, индикатором которого являются вариации АЧХ поля атмосфериков магнитной компоненты Нх (рис. 1г) в течение временного интервала (2023.02.03, 06:00 – 2023.02.03, 09:00) при отсутствии активности геофизических факторов, влияющих на состояние волновода Земля – ионосфера (рис. 1а, б, в). Для исследования тонкой структуры спектра данное событие представлено на рис. 2 в другом временном масштабе, при этом следует отметить, что в указанный временной промежуток (2023.02.03, 07:30 – 2023.02.03, 15:30) область нижней ионосферы освещена Солнцем.

В рассматриваемом случае можно предположить, что ионосферное возмущение, индикатором которого является вариация АЧХ поля атмосфериков во временном интервале [23.02.03, 07:30 – 23.02.03, 08:50] (рис. 2), является предвестником серии землетрясений «quakes0» [2023.02.03 (08:50: 2,02–73/06 – 08:54: 3.6–84/14)] (табл. 1).

Частотный диапазон вариации поля атмосфериков охватывает диапазон поверхностных и пространственных волн 613÷2091 Гц.

По характеру воздействия на среду распространения поля атмосфериков (нижняя граница волновода Земля – ионосфера) результат можно представить как два последовательных этапа:

а) на среду распространения пространственных волн: $\Delta F1 = 1350 \text{ Гц} \div 1945 \text{ Гц}$ во временном интервале: $\Delta t1 = (2023.02.03, 07:30 - 2023.02.03, 08:14) = 44 \text{ мин}$, характеризуется изменением резонансной частоты волновода в диапазоне частот $\Delta F1 = 1350 \text{ Гц} \div 1945 \text{ Гц}$ с периодом: $\Delta t \approx 4 \text{ мин}$;

б) на среду распространения поверхностных и пространственных волн: $\Delta F2 = 613 \div 2091 \text{ Гц}$ во временном интервале: $\Delta t2 = (2023.02.03, 08:14 - 2023.02.03, 08:50) = 36 \text{ мин}$, характеризуется режимом широкополосного режекторного фильтра.

Основные характеристики указанного фрагмента АЧХ п. а.:

- а) частотный диапазон: $\Delta F = 613 \div 2091 \text{ Гц}$;
- б) длительность ионосферного возмущения:

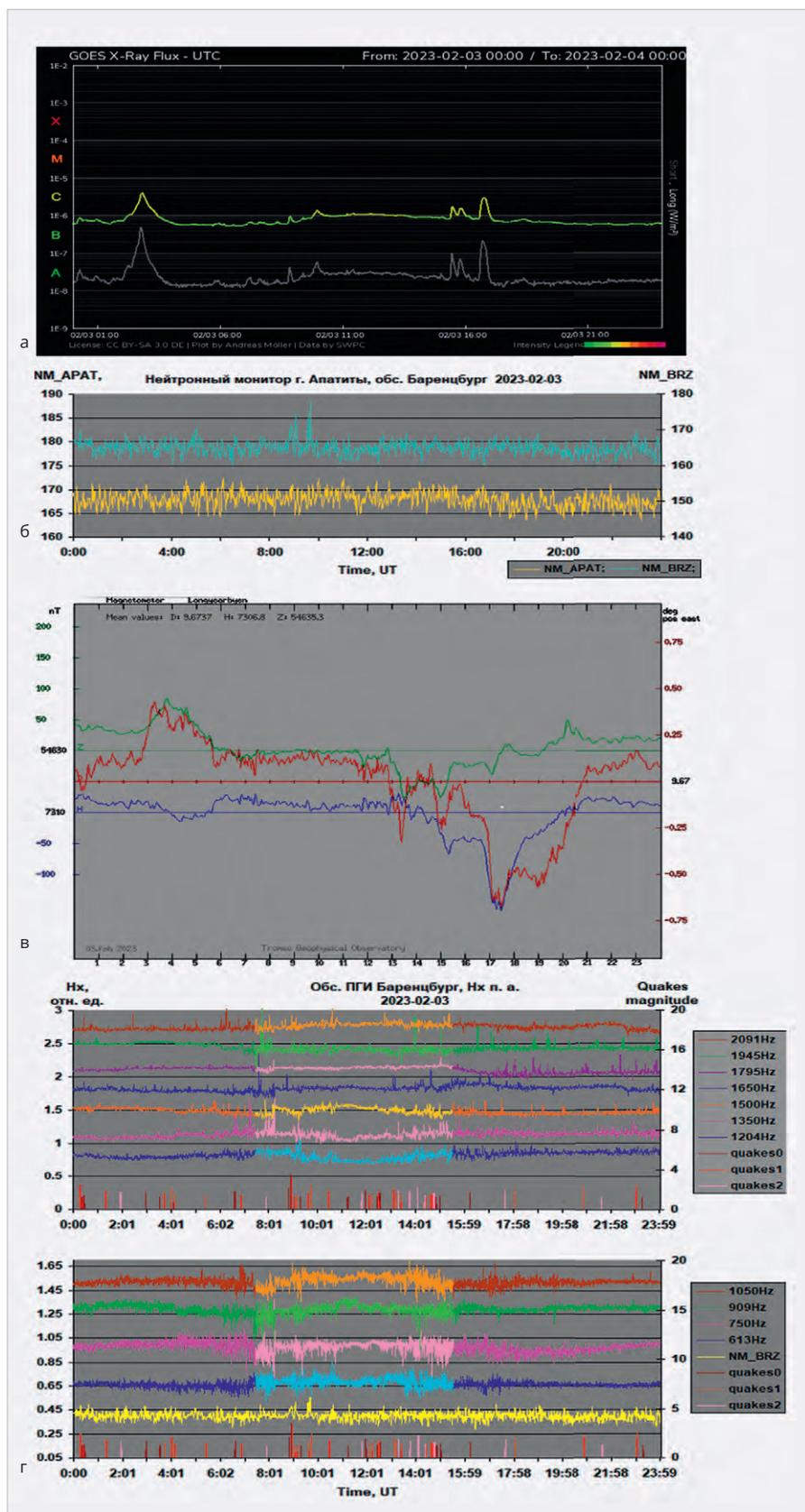


Рис. 1. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург, 78.08°N, 14.2°E) и гелиогеофизических факторов (2023-02-03): а) характеристика солнечной активности X-Ray Flux (GOES) (https://plot.polarlichtvorhersage.de/goes/2023-02-03_000000_2023-02-04_000000.png); б) вариации космических лучей, нейтронный монитор [г. Апатиты (67.57°N, 33.39°E), обс. ПГИ Баренцбург (78.06°N, 14.22°E)] (<http://pgia.ru/cosmicray>); в) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longyearbyen (78° 12'N, 15° 32'E)] ([http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi/?/](http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/)); г) синхронная запись АЧХ Нх-компоненты п. а., нейтронного монитора NM (BRZ) и сейсмической активности «quakes0-2» (<https://www.norsar.no/extranet/bulletins/>)

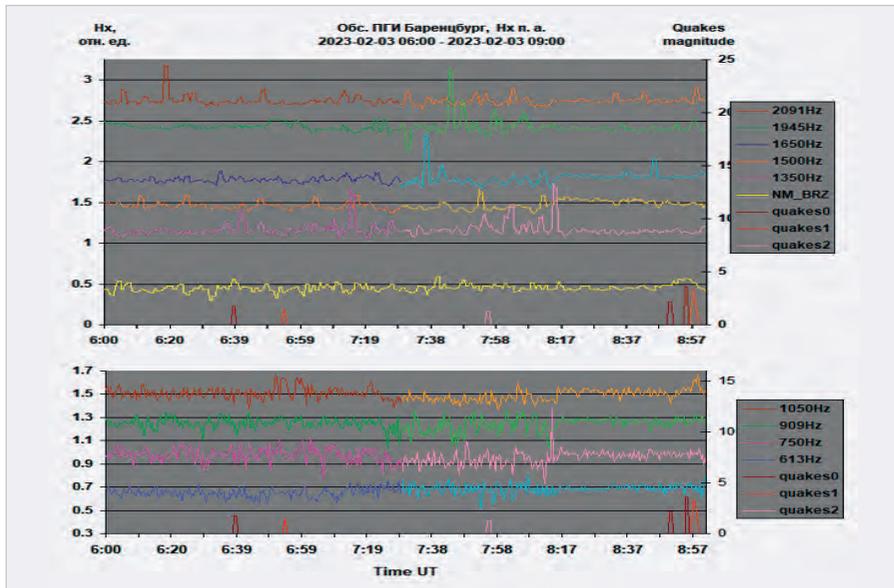


Рис. 2. Синхронная запись АЧХ Нх-компоненты п.а., нейтронного монитора NM (обс. ПГИ Баренцбург) и сейсмической активности «quakes0-2» (2023-02-03, 06:00 – 2023-02-03, 09:00).

Таблица 1. Время и координаты очагов землетрясений: «quakes0-2» (время – магнитуда – широта/долгота, обс. ПГИ Баренцбург 2023.02.03)

00:17 – 2,4 – 59/06	00:21 – 1,2 – 68/21	00:23 – 1,33 – 64/06	00:25 – 1,36 – 68/21
00:27 – 1,3 – 80/11	01:20 – 1,79 – 67/22	01:57 – 1,73 – 59/29	02:59 – 1,72 – 80/08
03:33 – 1,27 – 80/17	03:45 – 1,53 – 67/22	04:02 – 2,09 – 67/21	04:09 – 1,31 – 78/11
04:10 – 1,43 – 67/13	05:27 – 1,5 – 67/21	06:39 – 1,76 – 71/10	06:54 – 1,38 – 67/20
07:55 – 1,27 – 59/27	08:50 – 2,02 – 73/06	08:54 – 3,6 – 84/14	08:57 – 3,28 – 49/21
08:58 – 1,62 – 57/16	09:04 – 1,28 – 60/23	09:10 – 1,41 – 64/24	09:18 – 1,27 – 77/18
09:38 – 1,63 – 57/16;	09:45 – 2,43 – 64/14	10:28 – 1,78 – 61/05	11:14 – 1,25 – 78/08
11:49 – 1,67 – 67/30	11:57 – 1,87 – 69/08	12:07 – 1,39 – 59/16	12:14 – 1,54 – 58/14
12:26 – 1,34 – 80/09	12:29 – 1,7 – 57/19	12:30 – 1,54 – 59/16	12:33 – 1,6 – 77/09
13:07 – 1,96 – 53/20	13:13 – 1,7 – 67/20	13:18 – 1,90 – 60/30	13:25 – 1,51 – 58/16
13:46 – 1,76 – 61/30	14:06 – 2,2 – 59/29	14:23 – 1,41 – 70/27	14:25 – 1,29 – 61/17
14:38 – 1,57 – 67/03	14:41 – 1,5 – 57/12	14:46 – 1,59 – 61/30	14:51 – 1,23 – 77/16
15:01 – 1,41 – 71/07	16:12 – 1,59 – 80/25	17:37 – 1,86 – 67/29	17:38 – 1,2 – 80/3.6
18:01 – 1,95 – 67/20	20:51 – 2,2 – 57/25	21:36 – 1,24 – 84/30	22:59 – 1,9 – 65/20
23:02 – 2,53 – 55/15	23:16 – 1,2 – 79/14		

$\Delta T_{ИБ} = \Delta t_1 + \Delta t_2 = [2023.02.03, 07:30 – 2023.02.03, 08:50] = 1 \text{ час } 20 \text{ мин};$

в) время задержки между началом возмущения и серией землетрясений: $\Delta T_{Зад} = \Delta T_{ИБ} = [2023.02.03, 08:50 – 2023.02.03, 07:30] = 1 \text{ час } 20 \text{ мин}.$

2. Obs. ПГИ Баренцбург (2023.02.05–2023.02.06) (табл. 2)

Рассматриваемый сеанс записи (рис. 3) характеризуется более высокой сейсмической активно-

стью (магнитуда землетрясений $\approx 5,8$ баллов) и импульсным характером поведения АЧХ поля атмосфериков (рис. 3д).

Обращает на себя внимание возмущение (2023.02.05, 22:38 – 2023.02.06, 01:29), начало которого характеризуется спокойными геофизическими условиями (Солнце, космические лучи, магнитное поле Земли), область регистрации поля не освещена Солнцем. Поэтому можно предположить, что фрагмент поведения

(рис. 4) АЧХ Нх п. а. (2023.02.05, 22:38 – 2023.02.06, 01:29) является следствием геофизического явления, связанного с последующей серией («quakes1») землетрясений [2023.02.06, (01:29: 5,3–49/20) – (01:31: 4,92–54/23)] (табл. 2).

Также следует отметить тот факт, что конец рассматриваемого фрагмента совпадает по времени и с моментом указанной серии землетрясений и с экстремальным значением магнитного поля Земли, одновременно зарегистрированного на двух разнесённых по широте обсерваториях: Longyearbyen и Sodankyla (рис. 4а, б).

Частотный диапазон вариации поля атмосфериков охватывает диапазон поверхностных и пространственных волн (613÷2091 Гц).

По результату воздействия на среду распространения поля атмосфериков (нижняя граница волновода Земля-ионосфера) его можно разделить на два последовательных этапа:

а) на среду распространения поверхностных волн $\Delta F_1 = 613 \div 1050 \text{ Гц}$ во временном интервале: $\Delta t_1 = (2023.02.05, 22:38 \dots 2023.02.05, 23:59) = 1 \text{ час } 21 \text{ мин}$, характеризуется увеличением постоянной времени интегрирования сигнала;

б) на среду распространения пространственных волн $\Delta F_2 = 1204 \div 2091 \text{ Гц}$ во временном интервале: $\Delta t_2 = (2023.02.05, 23:59 – 2023.02.06, 01:29) = 1 \text{ час } 30 \text{ мин}$, характеризуется изменением условий резонанса, что выражено вариацией критической частоты волновода: $F_{КР} \approx 1204 \div 1500 \text{ Гц}$ (рис. 4 в).

Основные характеристики указанного временного фрагмента АЧХ п. а.: а) частотный диапазон: $\Delta F = (613 \text{ Гц} \div 2091) \text{ Гц};$

б) длительность ионосферного возмущения:

$\Delta T_{ИБ} = \Delta t_1 + \Delta t_2 = (2023.02.06, 01:29 – 2023.02.05, 22:38) = 2 \text{ часа } 51 \text{ мин};$

в) время задержки между началом возмущения и землетрясением $\Delta T_{Зад} = \Delta T_{ИБ} = 2 \text{ часа } 51 \text{ мин}.$

Таблица 2. Время и координаты очагов землетрясений «quakes0-2», Obs. ПГИ Баренцбург (2023.02.05–2023.02.06)

00:16 – 1,52 – 68/20	00:19 – 1,45 – 64/20	00:31 – 1,34 – 71/23	01:19 – 1,28 – 84/02	01:38 – 3,5 – 58/18	01:39 – 5,1 – 52/28	01:42 – 4,90 – 52/29	01:44 – 3,1 – 59/14
01:22 – 2,17 – 58/07	04:06 – 2,1 – 67/20	05:28 – 2,31 – 67/30	06:00 – 1,26 – 62/17	02:35 – 1,42 – 78/08	03:35 – 2,3 – 52/27	05:17 – 1,23 – 68/21	06:41 – 2,7 – 51/23
06:57 – 1,51 – 62/16	07:35 – 1,53 – 73/21	07:55 – 1,52 – 68/18	08:07 – 2,35 – 60/09	06:47 – 1,86 – 67/20	07:01 – 3,0 – 48/21	07:45 – 1,69 – 63/-2	07:56 – 3,39 – 50/10
08:18 – 1,30 – 68/21	09:28 – 1,35 – 68/21	10:45 – 1,5 – 68/21	11:37 – 2,2 – 77/17	07:58 – 1,67 – 62/06	08:02 – 1,34 – 63/07	08:15 – 2,96 – 49/23	08:20 – 2,34 – 55/21
14:18 – 2,8 – 80/20	15:06 – 1,22 – 60/16	15:40 – 1,78 – 58/16	15:44 – 1,38 – 56/11	10:00 – 1,27 – 68/24	10:32 – 5,7 – 49/28	10:35 – 5,4 – 53/29	10:37 – 4,1 – 53/18
16:05 – 1,81 – 56/10	16:07 – 2,7 – 49/06	20:02 – 1,56 – 72/28	20:23 – 1,49 – 67/22	10:37 – 5,7 – 52/26	10:38 – 4,99 – 48/16	10:39 – 5,7 – 49/24	10:41 – 5,5 – 54/30
21:20 – 1,43 – 77/12	21:55 – 1,32 – 76/17	22:10 – 1,51 – 81/2	22:46 – 2,6 – 84/13	10:42 – 5,1 – 52/17	10:43 – 4,1 – 50/20	10:47 – 4,9 – 53/20	10:49 – 4,1 – 55/17
22:58 – 2,35 – 62/06				10:53 – 1,57 – 60/24	11:23 – 1,6 – 59/21	11:25 – 1,74 – 61/25	11:30 – 1,41 – 63/28
2023-02-06							
00:17 – 1,53 – 67/21	00:22 – 1,26 – 68/02	01:01 – 1,38 – 68/21	01:29 – 5,3 – 49/20	12:17 – 2,4 – 60/0	12:59 – 1,76 – 63/24	13:00 – 1,7 – 60/11	13:20 – 1,93 – 60/15
01:29 – 4,0 – 55/23	01:30 – 4,92 – 54/24	01:31 – 5,78 – 52/29	01:31 – 4,9 – 54/23	13:30 – 1,43 – 57/14	16:21 – 2,2 – 61/29	16:25 – 2,41 – 78/16	16:47 – 1,97 – 84/14
01:32 – 4,3 – 51/28	01:32 – 2,8 – 59/15	01:37 – 4,02 – 50/24	01:37 – 3,9 – 57/17	16:52 – 2,51 – 89/-1	17:34 – 1,16 – 68/21	23:04 – 1,32 – 67/21	

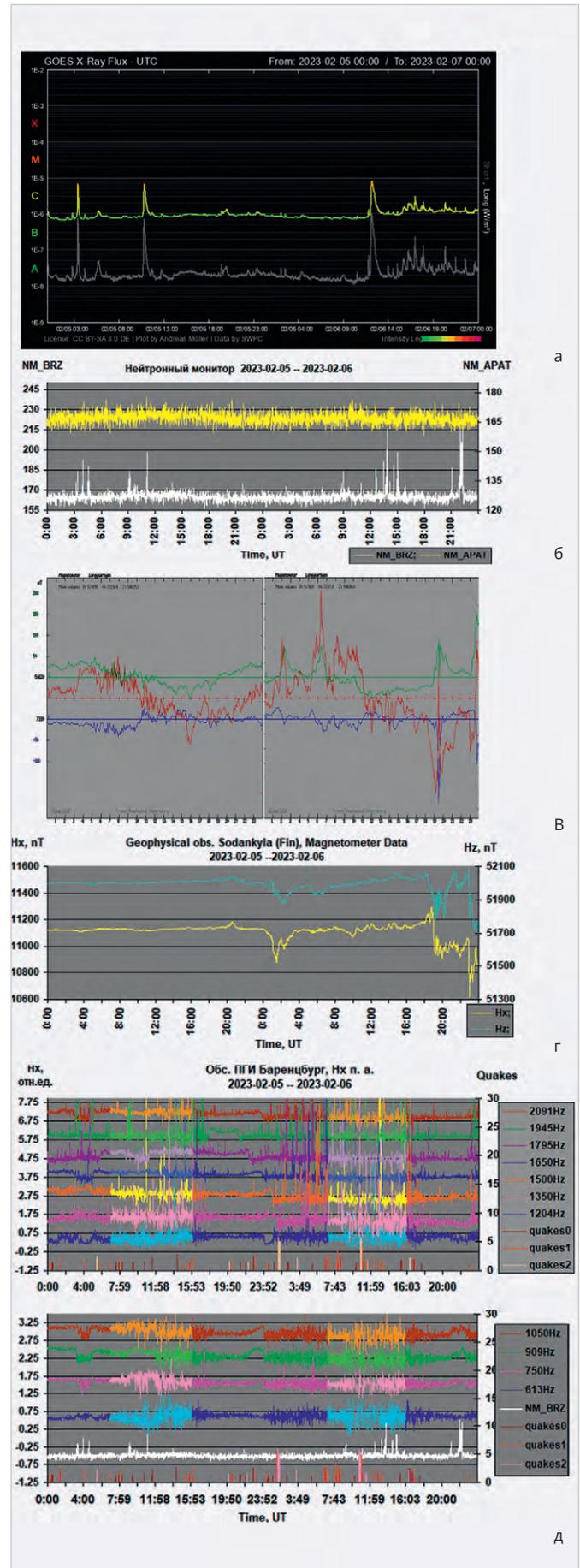
Таблица 3. Время и координаты очагов землетрясений «quakes0-2», обс. ПГИ Баренцбург (2021.12.23–2021.12.24)

00:19 – 2,41 – 67/13	00:23 – 2,04 – 66/18	00:30 – 2,08 – 67/27	02:08 – 1,84 – 60/25
02:41 – 1,08 – 77/18	02:48 – 1,29 – 61/25	05:40 – 1,62 – 78/16	06:04 – 2,26 – 62/2,5
06:16 – 1,08 – 68/18	06:30 – 1,45 – 62/10	06:39 – 1,08 – 68/21	07:45 – 1,04 – 63/28
07:52 – 1,89 – 58/23	08:14 – 1,07 – 63/24	08:17 – 1,81 – 68/17	08:54 – 1,2 – 63/27
09:13 – 1,7 – 68/21	09:32 – 1,90 – 59/28	09:55 – 3,36 – 67/03	10:08 – 2,38 – 67/27
10:09 – 2,0 – 72/07	10:44 – 1,86 – 60/15	10:48 – 1,95 – 66/20	10:55 – 1,48 – 77/16
11:06 – 1,1 – 60/11	11:15 – 1,8 – 67/16	11:34 – 1,04 – 61/29	11:36 – 1,97 – 68/32
11:46 – 1,33 – 70/03	12:15 – 1,49 – 61/22	12:18 – 1,42 – 71/03	12:22 – 1,46 – 69/18
12:54 – 1,29 – 60/29	13:18 – 1,47 – 61/29	14:07 – 1,16 – 80/10	14:24 – 1,23 – 68/21
15:00 – 2,03 – 67/21	15:51 – 1,70 – 58/25	16:17 – 1,59 – 68/21	17:20 – 2,12 – 68/21
18:00 – 1,44 – 67/22	18:24 – 1,84 – 68/17	18:50 – 1,13 – 57/08	18:59 – 1,16 – 80/13
19:36 – 2,54 – 71/25	20:45 – 1,10 – 67/20	20:53 – 1,47 – 68/21	21:22 – 1,01 – 77/15
23:12 – 1,36 – 66/21	23:51 – 1,01 – 67/19		
24.12.2021 г.			
00:16 – 1,33 – 68/21	00:40 – 3,34 – 62/12	00:42 – 2,4 – 63/13	00:47 – 1,67 – 68/21
01:44 – 2,12 – 78/09	02:53 – 1,3 – 76/11	02:57 – 2,45 – 68/11	03:32 – 1,54 – 79/03
04:50 – 1,07 – 80/03	05:19 – 1,16 – 68/21	05:26 – 2,09 – 57/30	06:00 – 1,65 – 68/21
06:14 – 1,78 – 67/22	06:17 – 1,81 – 58/28	08:22 – 2,04 – 68/21	09:30 – 2,14 – 61/30
09:45 – 1,21 – 61/29	09:47 – 1,38 – 64/08	10:08 – 1,84 – 70/30	10:09 – 1,81 – 65/31
10:18 – 1,85 – 63/-2	11:04 – 2,45 – 67/25	11:09 – 1,43 – 81/13	11:38 – 2,42 – 78/11
12:10 – 1,58 – 75/16	12:44 – 1,57 – 60/28	12:47 – 1,25 – 80/13	12:58 – 1,34 – 67/20
13:22 – 1,38 – 62/07	13:42 – 1,75 – 79/09	13:53 – 1,16 – 81/13	13:54 – 1,36 – 69/29
15:02 – 1,62 – 67/21	15:45 – 1,13 – 80/12	16:39 – 1,55 – 81/05	17:31 – 2,08 – 70/27
18:10 – 1,44 – 62/06	18:13 – 1,03 – 71/16	18:31 – 1,76 – 69/16	19:07 – 1,05 – 57/20
19:33 – 2,55 – 80/30	20:38 – 1,11 – 67/19	20:39 – 1,0 – 81/06	20:41 – 1,42 – 67/20
20:55 – 1,16 – 80/12	21:21 – 1,19 – 73/20	21:33 – 1,13 – 68/21	21:42 – 1,24 – 80/22
21:47 – 1,39 – 74/28	22:22 – 1,77 – 67/18	23:01 – 1,61 – 77/15	23:05 – 2,09 – 59/2
23:11 – 2,21 – 67/21	23:23 – 1,58 – 56/21		

Таблица 4. Время и координаты очагов землетрясений «quakes0-2», обс. ПГИ Ловозеро (2021.12.23–2021.12.24)

00:16 – 1,33 – 68/34	00:31 – 2,08 – 67/27	01:48 – 1,36 – 66/36	02:08 – 1,84 – 60/26
02:48 – 1,29 – 61/25	03:29 – 1,17 – 67/36	04:02 – 2,44 – 65/49	04:08 – 1,68 – 66/38
04:16 – 1,28 – 67/33	04:17 – 1,51 – 66/36	04:18 – 1,46 – 66/35	06:39 – 1,08 – 68/21
06:56 – 2,64 – 60/45	07:45 – 1,04 – 63/28	07:52 – 1,89 – 58/23	08:14 – 2,58 – 81/48
08:54 – 1,2 – 63/27	09:13 – 1,72 – 67/21	09:32 – 1,92 – 59/27	10:08 – 2,38 – 67/27
10:48 – 1,95 – 66/20	10:58 – 1,22 – 66/36	11:03 – 1,78 – 61/37	11:09 – 2,33 – 67/34
11:26 – 1,68 – 68/33	11:34 – 1,04 – 61/29	11:36 – 1,97 – 68/32	12:04 – 1,69 – 67/34
12:12 – 1,28 – 66/36	12:15 – 1,49 – 61/22	12:54 – 1,54 – 61/30	13:18 – 1,47 – 61/29
13:44 – 1,25 – 67/33	14:15 – 1,68 – 67/37	14:24 – 1,23 – 68/21	14:29 – 1,26 – 66/36
15:01 – 2,03 – 67/21	15:37 – 1,71 – 66/36	15:51 – 1,7 – 58/25	16:17 – 1,59 – 68/21
17:20 – 2,12 – 68/21	18:01 – 1,44 – 67/22	19:36 – 2,54 – 72/25	20:02 – 1,29 – 67/33
20:05 – 1,37 – 67/32	20:10 – 1,0 – 67/33	20:45 – 1,1 – 67/20	20:53 – 1,47 – 68/21
21:36 – 1,68 – 66/37	22:36 – 1,77 – 68/34	23:12 – 1,36 – 66/21	23:51 – 1,01 – 67/20
24.12.2021 г.			
00:16 – 1,33 – 68/21	00:27 – 1,96 – 73/38	00:48 – 1,67 – 68/21	02:18 – 1,13 – 66/35
03:39 – 1,14 – 68/35	04:05 – 1,43 – 67/35	04:09 – 1,59 – 66/36	04:28 – 1,84 – 68/42
05:19 – 1,16 – 68/21	05:26 – 2,08 – 57/30	06:01 – 1,65 – 68/21	06:15 – 1,78 – 67/22
06:18 – 1,81 – 59/28	07:01 – 2,46 – 68/34	07:18 – 1,68 – 67/33	08:22 – 2,04 – 68/21
08:36 – 2,27 – 69/38	09:30 – 2,14 – 61/30	09:45 – 1,21 – 61/29	10:08 – 1,84 – 70/30
10:09 – 1,81 – 65/31	10:48 – 1,26 – 68/34	11:04 – 2,45 – 67/25	12:08 – 2,27 – 63/41
12:09 – 1,61 – 66/35	12:44 – 1,64 – 68/34	12:44 – 1,57 – 61/28	12:58 – 1,34 – 68/20
13:09 – 1,86 – 61/32	13:39 – 1,18 – 66/36	13:55 – 1,36 – 69/29	14:20 – 1,94 – 68/33
14:26 – 1,25 – 67/37	15:03 – 1,62 – 67/20	15:44 – 1,26 – 83/41	17:31 – 2,08 – 70/27
18:20 – 1,48 – 75/44	19:00 – 1,5 – 63/34	19:07 – 1,05 – 57/20	19:13 – 1,17 – 81/49
19:26 – 1,25 – 67/34	19:33 – 2,55 – 80/30	19:49 – 1,44 – 69/35	20:05 – 1,66 – 67/36
20:07 – 1,16 – 67/37	20:09 – 1,51 – 68/33	20:14 – 1,69 – 66/35	20:38 – 1,11 – 67/19
20:42 – 1,42 – 67/20	21:21 – 1,19 – 73/20	21:33 – 1,13 – 68/21	21:43 – 1,24 – 80/22
21:47 – 1,39 – 74/28	22:14 – 1,41 – 67/35	22:59 – 1,44 – 70/42	23:06 – 2,09 – 59/23
23:11 – 2,21 – 68/21	23:24 – 1,58 – 56/21		

Рис. 3. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург, 78.08°N, 14.2°E) и геофизических факторов (2023-02-05 – 2023-02-06): а) характеристика солнечной активности X-Ray Flux (GOES (https://plot.polarlichtvorhersage.de/goes/2023-02-05_000000_2023-02-07_000000.png)); б) вариации космических лучей, нейтронный монитор [Апатиты (67.57°N, 33.39°E), обс. ПГИ Баренцбург (78.06°N, 14.22°E)] (<http://pgia.ru/cosmicray>); в) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longyearbyen (78° 12'N, 15° 32'E)] (<http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi/?>) г) магнитограммы магнитного поля Земли Hx, Hz [обс. Sodankyla (67° 22'N, 26° 38'E)] (https://www.sgo.fi/pub_mag/Data/SOD_MagData/SOD_2023/2023_02/F_230205.MIN) д) синхронная запись АЧХ Hx-компоненты п. а., нейтронного монитора NM (BRZ) и сейсмической активности «quakes0-2» (<https://www.norsar.no/extranet/bulletins/>)



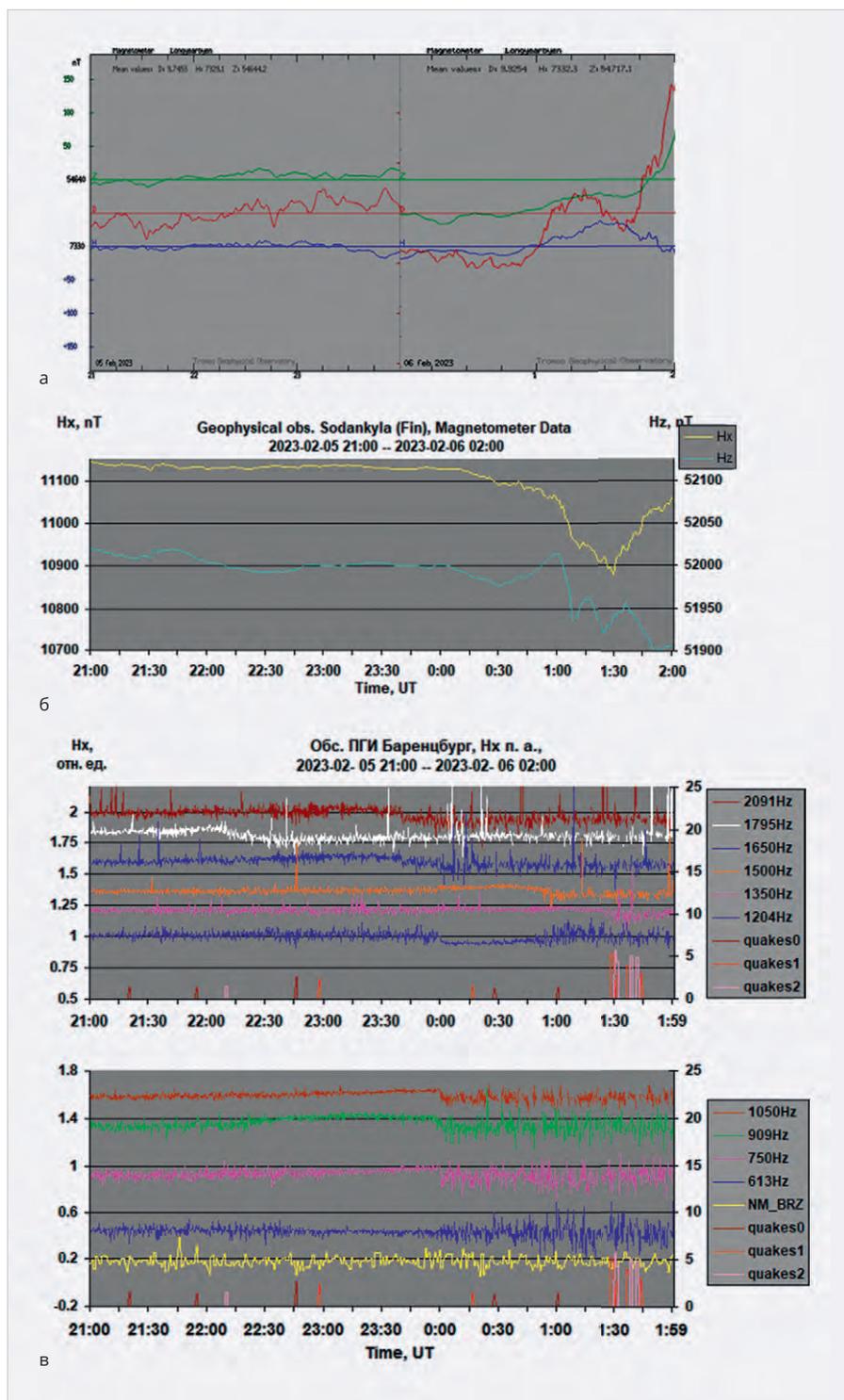


Рис. 4. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург, 78,08°N, 14,2°E) и гелиогеофизических факторов (2023.02.05, 21:00 – 2023.02.06, 02:00): а) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longyearbyen (78°12'N, 15°32'E)] ([http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi/?/](http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/)); б) магнитограммы магнитного поля Земли Hx, Hz [обс. Sodankyla (67°22'N, 26°38'E)] (https://www.sgo.fi/pub_mag/Data/SOD_MagData/); в) синхронная запись АЧХ Hx-компоненты п. а., нейтронного монитора NM (BRZ) и «сейсмической активности» «quakes0–2» (<https://www.norsar.no/extranet/bulletins/>)

3. Obs. ПГИ Баренцбург, Ловозеро (2021.12.23–2021.12.24)

В данном разделе рассмотрены характеристики поля атмосфериков, одновременно зарегистрированных на двух разнесённых по широте обсерватори-

ях Баренцбург и Ловозеро при одинаковых геофизических условиях, включая и сейсмическую активность.

На рис. 5 представлены классические характеристики геофизических явлений (X-Ray Flux, магнитограммы, кос-

мические лучи), которые являются факторами, воздействующими на АЧХ п. а.

На рис. 6, 7 представлены синхронная запись АЧХ поля атмосфериков и сейсмической активности «quakes0–2» соответственно для obs. ПГИ Баренцбург и Ловозеро.

3.1. Obs. ПГИ Баренцбург (78,06°N, 14,22°E) (табл. 3)

3.2. Obs. ПГИ Ловозеро (67,97°N, 35,08°E) (табл. 4)

Приведённые на рис. 6, 7 экспериментальные данные, полученные на разнесённых по широте авроральных обсерваториях, дают возможность провести сравнительный анализ реакции АЧХ п. а. на воздействия геофизических факторов, включая сейсмическую активность, на нижнюю границу волновода Земля – ионосфера.

Литература.

1. Ремизов Л.Т. Естественные радиопомехи. М.: Наука, 1985. С. 34.
2. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 1972. С. 563.
3. Ратклифф Дж. А. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975. 296 с.
4. Галахов А.А., Ахметов О.И. Комплекс аппаратуры для регистрации импульсной компоненты электромагнитного поля очень низкой частоты // Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 136–142.
5. Галахов А.А., Ахметов О.И., Кириллов В.И. Регистрация ортогональных магнитных компонент импульсной составляющей электромагнитного поля ИНЧ–ОНЧ-диапазона на архипелаге Шпицберген // Приборы и техника эксперимента. 2013. № 6. С. 69–73.
6. Галахов А.А., Ахметов О.И., Кириллов В.И. Аналоговый анализатор спектра атмосфериков кнч-онч-диапазонов на программируемых интегральных схемах // Приборы и техника эксперимента. 2015. № 1. С. 146–150.
7. Галахов А., Косолапенко В., Ларченко А., Пильгаев С. Анализатор спектра поля атмосфериков на реконфигурируемых ПАИС Anadigm // Современная электроника. 2019. № 7. С. 62–66.
8. Белоглазов М.И., Кириллов В.И., Пчёлкин В.В., Галахов А.А. Сезонные изменения суточных вариаций ИНЧ–ОНЧ-атмосфериков, регистрируемых в авроральных широтах // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 54. 2014. № 2. С. 266–271.
9. Кириллов В.И., Белоглазов М.И., Пчёлкин В.В., Галахов А.А. Влияние геомагнитных возмущений на сезонную динамику суточного хода атмосферных помех //

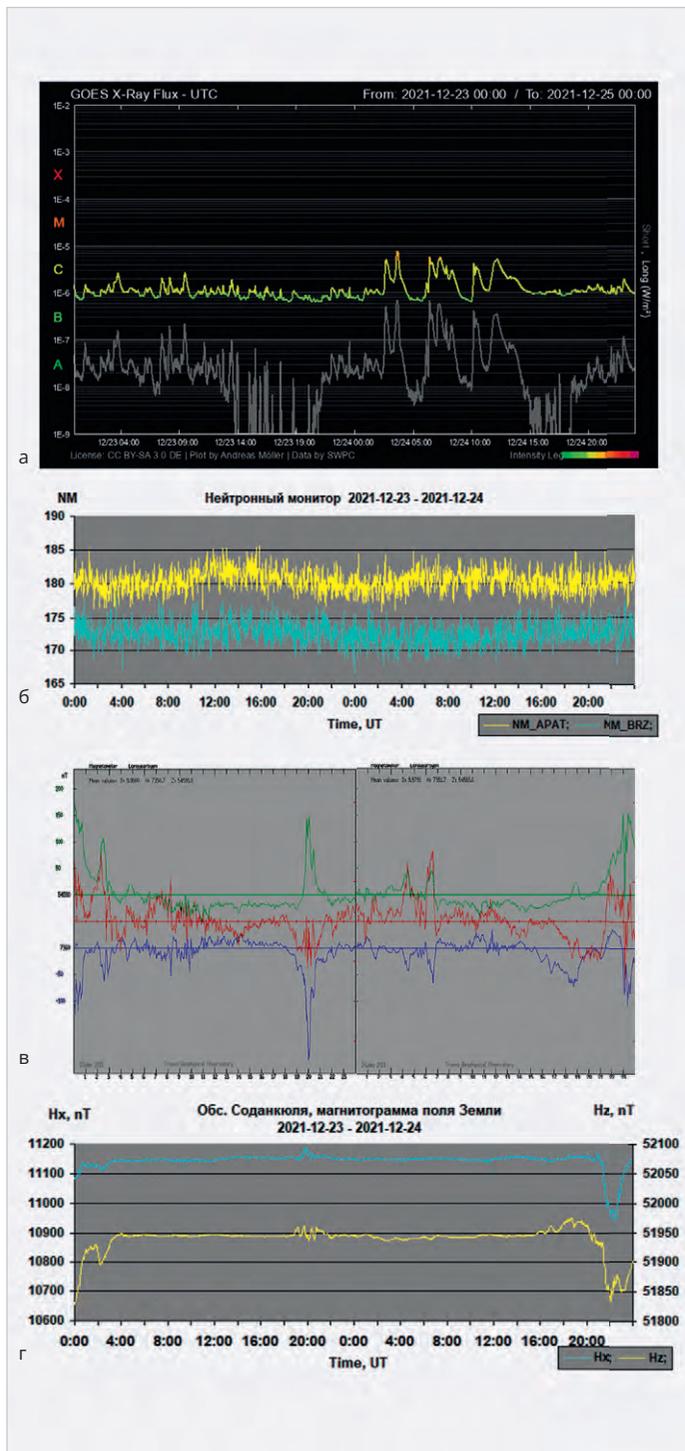


Рис. 5. Синхронная запись гелиогеофизических факторов 2021.12.23–2021.12.24: а) характеристика солнечной активности X-Ray Flux (GOES) (<https://plot.polarlichtvorhersage.de/goes/>); б) вариации космических лучей, нейтронный монитор [Апатиты (67,57°N, 33,39°E), обс. ПГИ Баренцбург (78,06°N, 14,22°E)] (<http://pgia.ru/cosmicray/>); в) магнитограмма магнитного поля Земли [обс. Longyearbyen (78°12'N, 15°32'E)] ([http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi/?](http://flux.phys.uit.no/cgi-bin/plotgeodata.cgi?/)); г) магнитограммы магнитного поля Земли Hx, Hz [обс. Sodankyla (67°22'N, 26°38'E)] (https://www.sgo.fi/pub_mag/Data/SOD_MagData/)

Геоматнезизм и аэрономия. Т. 55. 2015. № 2. С. 203–210.

10. Галахов А.А., Ахметов О.И., Кириллов В.И. Особенности применения анализатора спектра атмосфериков в кнч-онч-диапазонах для мониторинга состояния волновода Земля – ионосфе-

ра // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 3. С. 109–113.

11. Галахов А.А., Ахметов О.И. Наблюдение спектров атмосфериков в условиях высоких широт во время Форбуш-эффекта // Труды КНЦ РАН. Вып. 2 (Гелиогеофизика вып. 4/2016). 2016. С. 42–45.

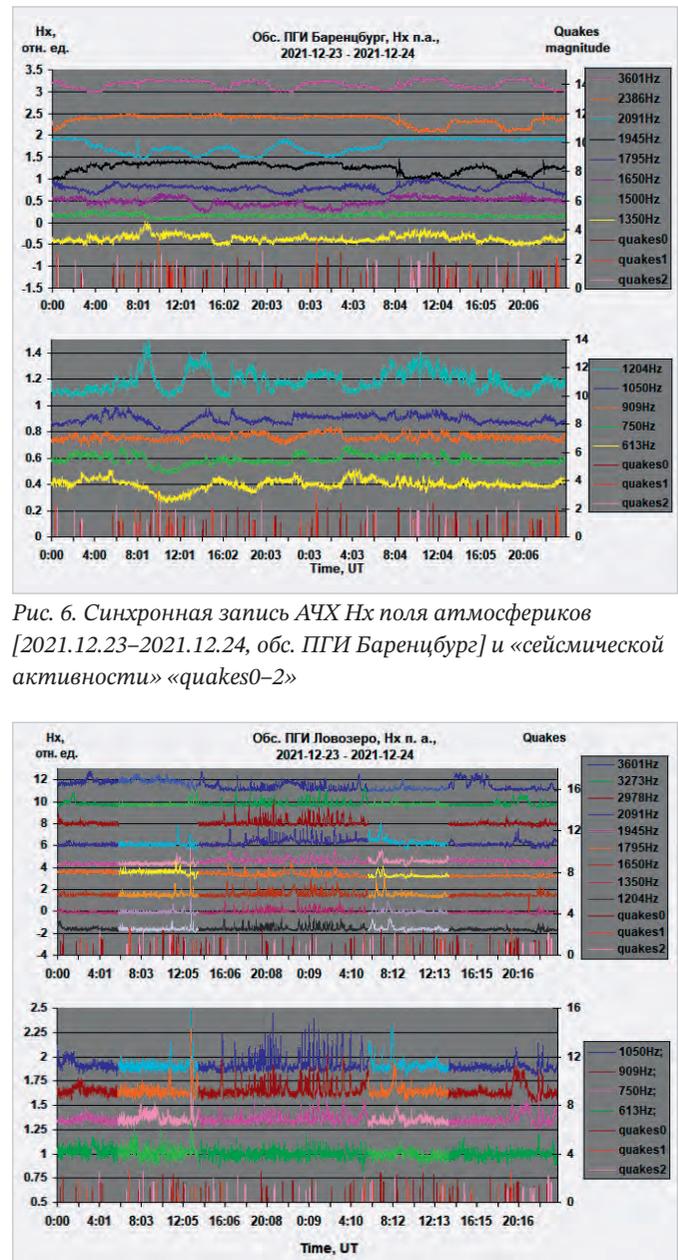


Рис. 6. Синхронная запись АЧХ Hx поля атмосфериков [2021.12.23–2021.12.24, обс. ПГИ Баренцбург] и «сейсмической активности» «quakes0–2»

Рис. 7. Синхронная запись АЧХ Hx поля атмосфериков [2021.12.23–2021.12.24, обс. ПГИ Ловозеро] и «сейсмической активности» «quakes0–2»

12. Галахов А.А., Ахметов О.И. Поперечный резонанс в высокоширотной части волновода Земля – ионосфера во время солнечного затмения 20.03.2015 // Геоматнезизм и аэрономия. Т. 57. 2017. № 5. С. 664–669.
13. Галахов А. Анализатор спектра поля атмосфериков – инструмент изучения гелиогеофизической обстановки // Современная электроника. 2020. № 8. С. 30–34.
14. Галахов А. Влияние вспышки на Солнце на АЧХ поля атмосфериков (экспериментальные данные) // Современная электроника. 2021. № 6. С. 64–65.
15. Галахов А., Галкин А. Синхронная запись АЧХ поля атмосфериков на разнесённых по широте авроральных обсерваториях (экспериментальные данные) // Современная электроника. 2023. № 2. С. 60–63.

Сверхпроводимость при высоких температурах: реальность и фальсификации. Часть 1. От низкотемпературной до высокотемпературной сверхпроводимости

Виктор Алексеев

В начале апреля 2024 года был опубликован 124-страничный отчёт о судебном процессе Университета Рочестера против Ранга Диаса, в котором подробно описаны факты плагиата и научных фальсификаций этого преподавателя физики, ставшего на три года научной суперзвездой жёлтой прессы. В течение нескольких последних лет Диас публиковал статьи об очередном прорывном достижении, неумолимо приближавшем его к открытию сверхпроводимости при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении. Поскольку сверхпроводимость при нормальных условиях (НУ) способна практически полностью изменить всю существующую науку и технику, то на протяжении уже более сотни лет эта цель является путеводной звездой для многочисленных лабораторий, занимающихся данной проблемой. Однако никому в мире не удалось повторить достижения Диаса. Поскольку основным критерием истинности того или иного открытия в физике является получение одинаковых результатов по одной и той же методике в нескольких независимых лабораториях, то ведущие учёные в разных странах стали сомневаться в результатах экспериментов Диаса. Вывод независимой комиссии о том, что эта история оказалась просто фейком, произвёл эффект разорвавшейся бомбы. Многие учёные и особенно научные чиновники стали сомневаться в том, возможна ли вообще высокотемпературная сверхпроводимость и каковы перспективы развития этого направления. Для того чтобы ответить на этот вопрос, нужно представлять, что такое сверхпроводимость при высоких температурах и каковы неоспоримые достижения в этой области на данный момент. Этому посвящена первая часть статьи.

Во второй части будут рассмотрены примеры нескольких нашумевших фальсификаций результатов измерений сверхпроводимости при «комнатных температурах».

Низкотемпературная сверхпроводимость

Впервые эффект сверхпроводимости в 1911 году открыли голландские ученые Камерлинг Оннес (Kamerlingh Onnes), Корнелис Дорсман (Cornelis Dorsman), Геррит Ян Флим (Gerrit Jan Flim) и Жиль Хольст (Gilles Holst), когда в одном из очередных опытов они обнаружили, что при температуре около 3 градусов Кельвина ($1\text{ K} = -273^\circ\text{C}$) металлическая ртуть, охлаждённая жидким гелием ($T_{\text{кр}} = 4,2\text{ K}$), полностью теряет электрическое сопротивление. Это явление получило название «сверхпроводимость – superconductivity – SC», а температуре, при которой оно возникает, был присвоен термин «кри-

тическая температура – $T_{\text{кр}}$ » (Critical temperature of superconductivity – T_{cs}).

Другое фундаментальное свойство сверхпроводников было обнаружено в 1933 году немецкими учёными Вальтером Мейснером (Fritz Walther Meissner) и Робертом Оксенфельдом (Robert Ochsenfeld). Оказалось, что, благодаря току сверхпроводимости, возникающему при охлаждении ниже $T_{\text{кр}}$, из объёма сверхпроводника полностью вытесняется внешнее магнитное поле. Схема обтекания внешнего магнитного поля сверхпроводящий ток, показана на рис. 1. Наглядный пример демонстрации эффекта Мейснера показан на рис. 2. Внешнее поле постоянного магнита вытесняется более мощным магнитным полем, возникающим в сверхпроводнике при протекании тока сверхпроводимости, и приподнимает магнит в воздухе [1].

Различают два типа сверхпроводников. Первый тип «type one superconductors», включающий чистые вещества, полностью вытесняет из себя внешнее магнитное поле (как показано на рис. 1). У сплавов и композиционных материалов, как правило, наблюдается так называемый «частичный эффект Мейснера», при котором не происходит полного вытеснения магнитного поля из внутреннего объёма сверхпроводника.

Во внутреннем объёме таких сверхпроводников при температурах ниже $T_{\text{кр}}$ формируются круговые токи, создающие магнитное поле, которое, однако, заполняет не весь объём, а распределено в нём в виде отдельных нитей – «вихрей Абрикосова».

При этом вихри могут удерживаться на микронеоднородностях материала. Этот процесс называется пиннингом (pinning). При сильном вихревом пиннинге возникает «эффект захваченного магнитного потока», заключающийся в сохранении остаточной намагниченности в сверхпроводниках 2-го типа после выключения источника внешнего поля.

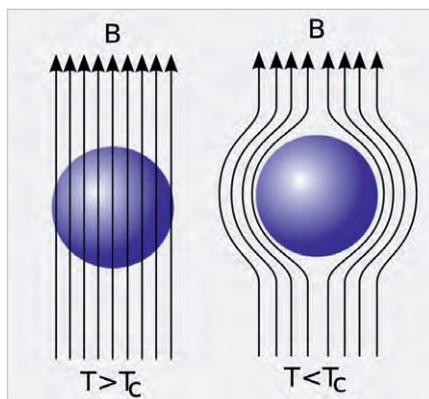


Рис. 1. Эффект Мейснера – благодаря мощному магнитному полю, генерируемому током сверхпроводимости, из объёма сверхпроводника полностью вытесняется внешнее магнитное поле [1]

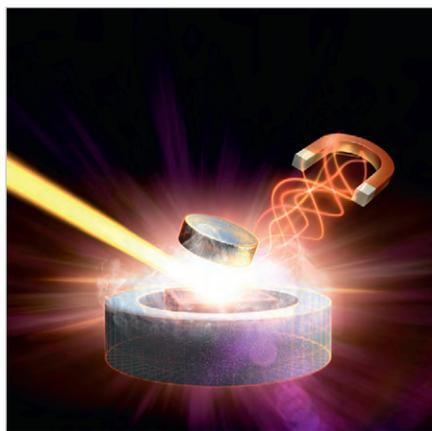


Рис. 2. Демонстрация эффекта Мейснера – левитация магнита над сверхпроводником

Такие сверхпроводники получили название «сверхпроводники второго рода» (type two superconductors – TTSC). Для них вводится понятие «глубины проникновения магнитного поля λ » [2].

История развития сверхпроводимости схематически показана на рис. 3. Заветной целью при этом было и остаётся достижение сверхпроводимости при комнатных температурах и атмосферном давлении (нормальные условия – НУ).

Дальнейшим исследованиям помешали две мировые войны. В период 1911–1945 гг. практически не было никаких публикаций по экспериментам со сверхпроводимостью.

В период с 1911 до конца 1940-х только у Pb, NbC и NbN была обнаружена сверхпроводимость.

Затем, в 1960-х, были открыты и другие сверхпроводники, такие, например, как $Nb_3(Al,Ge)$. Только в начале 2020-х были исследованы сверхпроводники группы железа: $LaFeP(O,F)$, $LaFeAs(OF)$. Критическая температура для отмеченных сверхпроводников находится в диапазоне от 4,2 до 20 К (температуры кипения жидких гелия и водорода соответственно). Также были открыты и другие сверхпроводники с критической температурой в промежутке от 20 до 77 К (температуры кипения жидких водорода и азота: Nb_3Ge , $(LaSr)_2CuO_4$, $(LaBa)_2CuO_4$, Nb_3Ge , MgB_2). В 2010-х была доказана сверхпроводимость у $SmFeAs(OF)$, $NbFePo_{1-x}$. Все отмеченные сверхпроводники, имеющие критическую температуру ниже точки кипения жидкого азота (77 К), стали называть низкотемпературными сверхпроводниками. Точные значения критических температур всех известных на сегодня

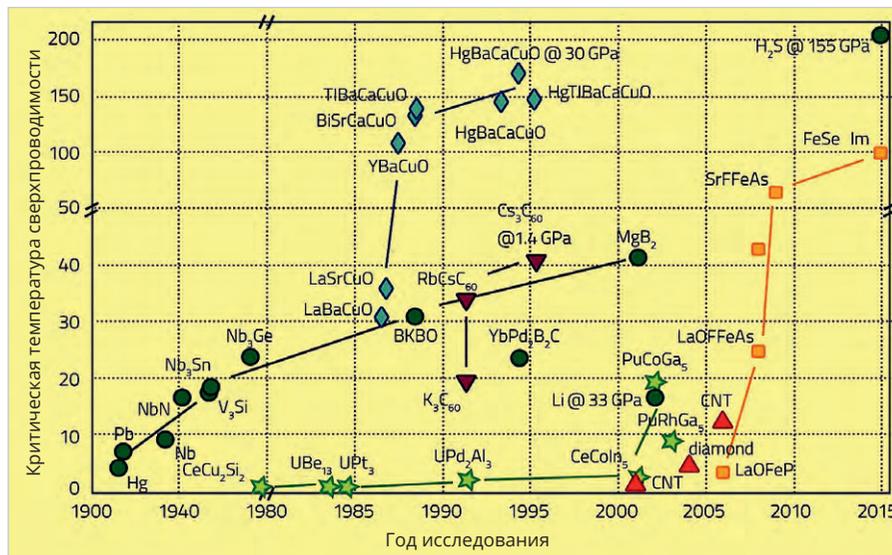


Рис. 3. История развития сверхпроводимости [3]

нынешний день сверхпроводников можно найти в обзоре [4].

Из перечисленных выше сверхпроводников нужно выделить Nb_3Sn с критической температурой 18 К, полученный ещё в 1954 году [5]. Особенность этого сверхпроводника заключается в том, что на его основе в СССР в 1970-е годы был разработан сверхпроводящий провод из бинарного интерметаллического неорганического соединения ниобия и олова, способный при низких криогенных температурах пропускать ток плотностью до 100 кА/см² в условиях мощного внешнего магнитного поля. Было налажено серийное производство этого провода в рамках проекта ТОКАМАК. Планируется участие российских производителей подобных проводов в проекте ТОКАМАК «International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER», строительство которого началось в 2010 году во Франции. [6]. Окончание строительства намечено на 2025 год (рис. 4).

Направление исследования сверхпроводящих интерметаллидов оказалось настолько успешным, что позволило достаточно быстро внедрить их в производство томографов, транспорта на магнитной подушке, а также подъёмного оборудования со сверхмощными магнитами [7].

Хорошо известный «Джозефсонский переход» (Josephson junction) относится к классу низкотемпературных сверхпроводников на основе технологии с переходами типа SIS-, SNS-, SDS- и др.

Кроме интерметаллидов ниобия в 2000-е были получены сплавы MgB_2 (диборид магния) с критической тем-

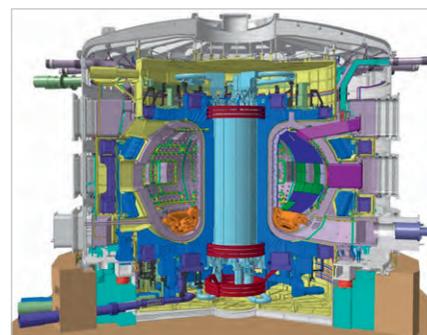


Рис. 4. ТОКАМАК «International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER», окончание строительства которого намечено на 2025 год

пературой перехода в сверхпроводящее состояние 40 К [9].

Сверхпроводящие купраты, «водородный период»

Преодолеть барьер температуры кипения жидкого водорода и поднять критическую температуру до 21 К удалось на интерметаллиде Nb_3Ge в 1976 году. Так закончился первый гелиевый этап развития низкотемпературной сверхпроводимости, продолжавшийся с 1911 по 1976 год [10].

Наступил следующий этап исследований с критическими температурами в районе температуры кипения жидкого водорода 20,28 К (минус 252,87°С).

В течение следующих десяти лет не было заметных успехов. Настоящая революция произошла в 1986 году, когда сотрудники научного подразделения корпорации IBM Карл Мюллер (Karl Alexander Müller) и Йоханнес Беднорц (Johannes Georg Bednorz) зафиксировали наступление эффекта сверхпроводимости при критической температуре

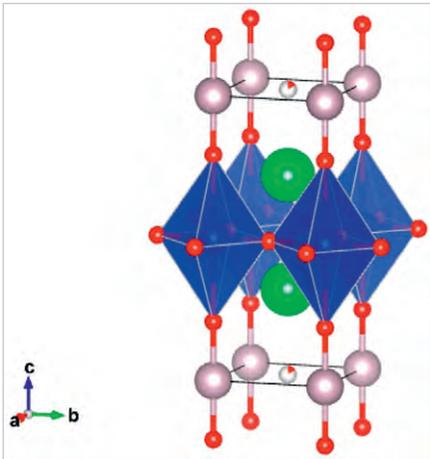


Рис. 5. Кристаллическая структура $HgBa_2CuO_4+\delta$ (Hg-1201). Координационные многогранники: Cu – искажённый октаэдр и гантельная форма – Hg

35 К в образце из семейства купратных сверхпроводников, содержащих соединения лантана-бария-меди-кислорода ($La_{2-x}Ba_xCuO_4$) [11]. Термин «купраты» определяет общий класс семейств сложных соединений меди, берущий своё название от латинского «cuprum».

Такое рекордное снижение критической температуры вызвало настоящую научную сенсацию, а Карл Мюллер и Йоханнес Беднорц сразу же в 1987 году были удостоены Нобелевской премии по физике «за важный прорыв, выразившийся в открытии сверхпроводимости в керамических материалах».

С этого момента внимание исследователей сверхпроводимости переключилось на керамические соединения. В основном исследования развивались по двум направлениям.

В первом случае использовался «твёрдофазный синтез», в процессе которого при высоких температуре и давлении смешивались нужные прекурсоры, а затем в процессе химической реакции получалось новое соединение.

Второй, крайне сложный путь, состоял в том, что с помощью методов молекулярно-пучковой эпитаксии в глубоком вакууме на подложку наносились один за другим монослои атомов отдельных элементов [12]. Образующиеся при этом «сверхпроводящие щели» достаточно надёжно определяются, например, с помощью рентгеновской или андреевской спектроскопии [13].

Купратные сверхпроводники имеют довольно сложную слоистую кристаллическую структуру, в которой чередуются слои допированной примеси и меди. При этом основную для сверх-

проводимости роль играют кристаллографические плоскости CuO_2 .

Эксперименты проводились как с однослойными, так и с многослойными щелями. Так, например, было получено соединение лантана, стронция и меди $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, для которого критическая температура сверхпроводящего состояния составила 40 К [14].

Высокотемпературная сверхпроводимость, «азотный период»

В марте 1987 года был взят один из ключевых рубежей в температурной битве. Впервые был получен сверхпроводник на основе соединения иттрия, бария, меди и кислорода $Y_{0.8}Ba_{1.2}CuO_y$ с критической температурой $T_{кр} = 92$ К, что значительно превышало температуру кипения жидкого азота (77,4 К) [15].

Закончился десятилетний период «жидкого водорода» и наступил этап «жидкого азота». Нужно особо подчеркнуть, что получение жидкого азота из атмосферного воздуха значительно проще и много дешевле по сравнению с гелием и водородом. Достаточно сказать, что в среднем цена на технический жидкий азот почти в двести раз меньше, чем на жидкий гелий такой же чистоты.

Учитывая этот факт, большое количество малобюджетных университетских лабораторий практически во всём мире получили реальные возможности исследовать новые вещества с эффектом сверхпроводимости.

После того как в 1987 году был преодолён барьер $T_{кр} = 92$ К, сверхпроводники, работающие при критических температурах кипения выше жидкого азота (77 К или минус 196°C), стали называть «высокотемпературными сверхпроводниками – ВТСП» (High temperature superconductor – HTSP). Это событие рассматривают как начало нового этапа развития физики конденсированных сред, получившего название «High temperature superconductivity – HTSC» [16].

Необходимо подчеркнуть, что в научно-популярной литературе некоторые авторы иногда трактуют первую часть этого термина НТ как «Normal Temperature – комнатные температуры», что искажает истинный смысл аббревиатуры [17].

Сверхпроводимость при комнатных температурах (от +15 до +23°C) в английской терминологии имеет другое название: «Flat Band Superconductivity – FBSC» [18].

Необходимо особо подчеркнуть, что при описании результатов измерений эффекта сверхпроводимости необходимо обязательно указывать два параметра, а именно: критическую температуру $T_{кр}$ и критическое давление $P_{кр}$, при которой она была достигнута.

Все появившиеся в последние годы статьи о якобы достигнутой сверхпроводимости при комнатной температуре FBSC оказались фальсификацией. Об этом подробно будет рассказано во второй части данной статьи.

После опубликования подробной методики, которая позволила получить $T_{кр} = 92$ К, сразу несколько научных групп стали экспериментировать с различными вариантами купратных сверхпроводников, среди которых наиболее популярными были такие соединения, как: $YBaCuO$, $BiSrCaCuO$, $TlBaCaCuO$, $HgBaCaCuO$, $HgTlBaCaCuO$, $HgBaCaCuO$.

Аналогичные работы проводились и в РФ. Так, например, физики из МГУ им. М.В. Ломоносова опубликовали результаты испытаний синтезированного ими $HgBa_2CuO_4+\delta$ (Hg-1201) с одним слоем CuO_2 на элементарную ячейку, для которого эффект сверхпроводимости был достигнут при температуре ниже 94 К [19]. Кристаллическая структура Hg-1201 показана на рис. 5 [20].

Кристаллические структуры ртути-содержащего ряда сверхпроводящих купратов $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ можно охарактеризовать как срастающиеся галитоподобные и перовскитоподобные фрагменты. Катионы Hg имеют типичную гантелеобразную форму. В кристаллических структурах соответствующие количества слоёв CuO_2 разделены катионами Са.

Для композитного соединения $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{1+x}$, содержащего три слоя CuO_2 , в 1993 году была получена $T_{кр} = 133$ К.

Это значение стало максимальной критической температурой сверхпроводимости, достигнутой при нормальном атмосферном давлении для стабильной фазы купратного сверхпроводника [21]. Спустя несколько месяцев, в этом же году, другая группа учёных с композитом $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ (Hg-1223), состоящим из аналогичных элементов, но с разным допированием и количеством проводящих щелей, получила критическую температуру 153 К при давлении 150 кбар. Как отмечают



Рис. 6. Конструкция высокотемпературного сверхпроводящего кабеля фирмы Nexans

авторы этой статьи, повышение давления позволяет уплотнить слоистую структуру сверхпроводника и увеличить количество проводящих щелей на единицу объёма [22].

В 1994 году для модифицированного соединения HgBaCaCuO была достигнута критическая температура 164 К при внешнем давлении 45 ГПа [23].

В 2005 году авторский коллектив под руководством Е.В. Антипова опубликовал статью, в которой описывались результаты экспериментов зависимости критической температуры от давления во фторированных образцах керамики $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (Hg-1223) с различным содержанием F. Эффект сверхпроводимости был обнаружен при критической температуре 166 К, при давлении 23 ГПа, во фторированном образце Hg-1223 с оптимальным уровнем легирования [24].

Обзор всех опубликованных работ, связанных с поиском новых сверхпроводящих материалов на основе купратов, не входит в планы этой статьи. Значительных достижений в преодолении новых температурных барьеров не было.

Тем не менее нужно отметить, что сверхпроводники на базе купратов широко используются в настоящее время в сверхпроводящих проводах, которые, имея нулевое сопротивление, могут передавать электроэнергию с минимальными потерями мощности. Пример конструкции высокотемпературного сверхпроводящего кабеля фирмы Nexans показан на рис. 6 [25].

Керамический ВТСП-сверхпроводник нанесён на несущую металлическую основу. Каждая из магистральных фаз отделена от соседних с помощью сверхнадёжных изоляторов. Стальная герметичная оболочка обеспечивает двухконтурную циркуляцию жидкого азота внутри кабеля.

Такой сверхпроводящий кабель может сочетать небольшой диаметр и исключительную мощность, обеспечивая токи от 3500 А и напряжения до 1500 В постоянного тока.

Линии электропередач со сверхпроводящими кабелями сегодня успешно используются, например, в метрополитене Парижа [26], в экспериментальных воздушных линиях Шанхая [27], в Москве на опытно-промышленной эксплуатационной подстанции 110 кВ «Динамо» [28].

Интересно выглядит китайский проект гибридной линии на основе сверхпроводящего провода, в качестве хладагента в котором используется сжиженный природный газ [29]. При этом конструкция выполняет две функции – газопровода и сверхпроводящей линии.

Более подробную информацию о сверхпроводимости в купратах можно найти в обзорной статье [30].

Отсутствие явных успехов в исследованиях заставило большинство экспертов считать, что идея сверхпроводников на базе купратов, с рассмотренными выше структурами и составом, исчерпала себя, и нужно искать какие-то новые соединения.

Сверхпроводники на основе гидридов

В начале 2000-х было известно, что такие газы, как, например, метан (CH_4), могут металлизироваться при сверхвысоких давлениях и низких температурах [31, 32].

Эти факты натолкнули учёных на мысль о том, что можно попробовать искать эффект сверхпроводимости при высоких температурах, используя различные гидриды.

В 2015 году объединённый коллектив учёных из института Макса Планка (Max-Planck-Institut, Mainz, Germany) и института неорганической и аналитической химии Майнцкого университета имени Иоганна Гутенберга (Institute of Inorganic and Analytical Chemistry, Johannes Gutenberg-University Mainz), под руководством Александра Дроздова и Михаила Еремца, обнаружил рекордно высокую критическую температуру сверхпроводимости 203 К при

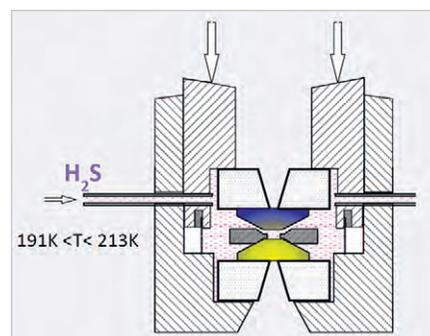


Рис. 7. Структурная схема эксперимента Дроздова – Еремца с H_2S ($T_{\text{кр}} = 203 \text{ K}$ (-70°C) и $P = 1,58 \text{ млн атм.}$)

сжатии образцов гидрида серы до давлений 150 кПа (около полутора миллионов атмосфер) [33].

Команда Дроздова и Еремец установила, что гидрид серы резко начинает терять электрическое сопротивление при давлении порядка 100 ГПа. Измерения сопротивления и магнитной восприимчивости показали резкий переход из диамагнитного состояния в парамагнитное и выраженный гистерезис, указывающий на сверхпроводимость II рода.

Дальнейшее увеличение давления выявило резкий рост критической температуры, которая достигает своего максимума $T_{\text{кр}} = 203,5 \text{ K}$ (-70°C) при давлении 150 ГПа. Полученные спектры комбинационного рассеяния при давлениях выше 80 ГПа показали возникновение новой фазы, соответствующей металлическому состоянию гидрида серы, которая сохранялась до 150 ГПа. Важно то, что при этих условиях возникала стабильная фаза соединения серы и водорода, химическая формула которого ближе к H_3S .

В связи с разоблачением фальсификации Диаса, который также экспериментировал в этом направлении, появились сомнения в перспективности исследований сверхпроводимости в гидридах вообще.

Поэтому для того, чтобы понять, как были получены революционные результаты группы Дроздова – Еремца и насколько они справедливы, необходимо немного подробнее остановиться на описании их эксперимента.

Структурная схема установки, используемой в этой работе, показана на рис. 7.

Основу экспериментальной установки составляет так называемая «diamond anvil cell – DAC» (алмазная наковальня – АН), включающая два алмаза конической формы с наконечниками диа-

Таблица 1. Параметры сверхпроводимости гидридов, полученные в разных лабораториях мира при сверхвысоких давлениях

Год	Образец	Давление (ГПа)	T _{кр} (К)	Источник
2015	H ₂ S/H ₃ S	150	203	[33]
2015*	H ₃ S	153	197	[36]
2015	PH ₃	200	100	[37]
2019	LaH ₁₀	188	260	[38]
2019	LaH ₁₀	170	250	[39]
2020	LaH ₁₀	165	250	[40]
2019	YH ₉	201	243	[41]
2019	YH ₈	166	224	[42]
2020	ThH ₁₀	170	160	[43]
2021	CaH ₆	180	210	[44]
2022	CaH ₆	172	215	[45]
2022	SnH _x	200	70	[46]
2022	CeH ₉	95	115	[47]
2023	CeH ₁₀	116–125	116	[48]
2024	CeH ₉	118–137	91	[49]
2022	ZrH _x	220	71	[50]
2021	(La, Y)H ₁₀	183	253	[51]
2022	(La, Ce)H ₉	100	176	[52]
2022	(La, Ce)H ₉	110	178	[53]
2022	(La, Nd)H ₁₀	180	148	[54]
2023	TaH _x	197	30	[55]

*Вместо «стандартного» H₂S, который использовала группа Александра Дроздова, в университете Израиля изначально применялось более устойчивое соединение H₃S, в котором сера имеет степень окисления +3. Образцы H₃S с кубической структурой (Im-3m)H₃S были синтезированы из элементарной серы и донора водорода NH₃BH₃.

метром 200–300 мкм, скошенных под углом 7–8 градусов до калетты (остриё огранки кристалла) 40–80 мкм. На остриях АН были напылены четыре титановых электрода, покрытые золотом, обеспечивающие прецизионное измерение сопротивления.

Благодаря исключительной твёрдости алмаза и разности диаметров основания и вершины наконечников были достигнуты давления до нескольких миллионов атмосфер. При этом прозрачность алмазов в широкой области спектра позволила исследовать образец с помощью различных спектроскопических методов.

Газообразный гидрид серы H₂S подавался через капилляр и попадал в замкнутый контур, расположенный вокруг алмазных наковален. При охлаждении до температур в диапазоне от 191 К до 213 К гидрид серы конденсировался и в жидкой фазе подавался в углубление диаметром несколько микрон, расположенное на одном из наконечников АН. После чего давление увеличивалось при сохранении низких температур, предотвращающих разложение гидрида серы.

Толщина образца, измеренная с помощью интерференционных спектров, составляла несколько микрон.

Затем при различных давлениях и температурах измерялись сопротивление, магнитные поля, снимались спектрометрические характеристики, а также определялись другие параметры эксперимента.

Сопротивление измерялось с использованием четырёхзондового сенсора методом Ван дер Пау [34] при токе 10–10 000 мкА.

Температура и магнитное поле надёжно определялись с помощью оборудования PPMS6000 (установка для исследования физических свойств материалов). Для измерений намагниченности образцов использовались АН, оснащённые SQUID (superconducting quantum interference device – сверхпроводящий квантовый интерферометр), конструкции которых были разработаны специально для этого эксперимента. Эффект Мейснера в этих экспериментах оценивался с помощью измерения магнитной восприимчивости, определяемой как отношение намагниченности образца к внешнему полю.

Одна из технических проблем заключалась в том, чтобы подвести внешнее магнитное поле как можно ближе к образцу, при этом не создавая

электромагнитных помех, искажающих результаты измерений. Для этого использовался метод двух катушек. Одна катушка создавала необходимое поле, микрочасть которого с помощью миниатюрного магнитопровода подводилась к образцу. Другая катушка с аналогичными параметрами использовалась для вычитания фона, создаваемого первой катушкой.

Результаты работы группы Дроздова – Еремца стимулировали дальнейшие исследования сверхпроводимости. Появилось множество сообщений об обнаружении сверхпроводимости при комнатных температурах и высоких давлениях для различного типа гидридов.

Эти годы также называют «эпохой сверхпроводящих гидридов». В основном схемы опытов повторяли описанный выше эксперимент. Поэтому нет необходимости подробно рассматривать детали каждой из этих публикаций. В табл. 1 приведены данные параметров сверхпроводимости, опубликованные в статьях, которые не вызвали нареканий у мирового научного сообщества. В таблицу не включены данные, которые были в 2024 году признаны фальсифицированными.

Максимальные критические температуры от 250 до 260 К были получены для гидрида лантана LaH₁₀ при давлениях в диапазоне 260–280 ГПа (2,6 миллиона атмосфер) в трёх разных лабораториях при проведении независимых экспериментов и использовании различных методик [38, 39, 40].

Для того чтобы понять, насколько сложны подобные эксперименты и насколько квалифицированы должны быть их исполнители, стоит привести ещё несколько технических подробностей.

Во-первых, известные на сегодняшний день соединения, для которых доказана сверхпроводимость в районе «высокой температуры» (выше температуры кипения азота), получившие название «высокотемпературные сверхпроводящие проводники – ВТСП», существуют в стабильном состоянии только при высоких давлениях в миллионы атмосфер, когда они переходят в металлическую фазу.

Для того чтобы доказать существование сверхпроводимости ВТСП, необходимо использовать специальное крайне сложное и дорогостоящее оборудование. При этом из-за микронных размеров образцов и огромных

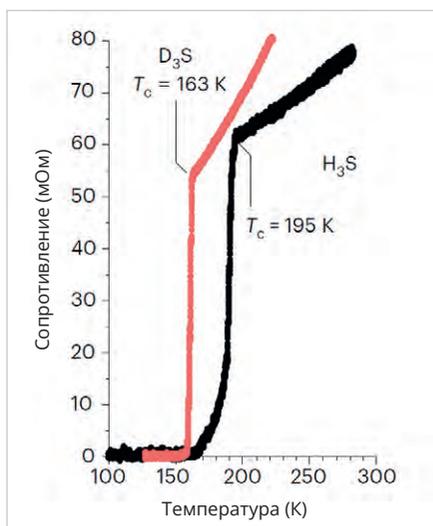


Рис. 8. Зависимость электрического сопротивления H_3S и D_3S от температуры [60]

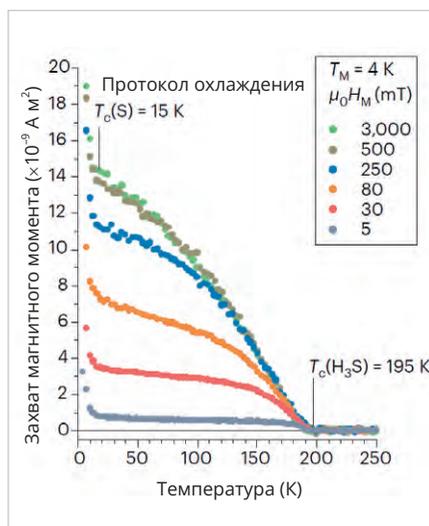


Рис. 9. Температурная зависимость захваченного магнитного момента в сверхпроводящем H_3S при давлении 155 ГПа

тификации эффекта сверхпроводимости определялись и другие неотъемлемые параметры сверхпроводимости. Прежде всего это касается измерения характеристик магнитных полей.

Как правило, в современных экспериментах определяются такие значения внешнего магнитного поля, которые приводят к нарушению эффекта сверхпроводимости – «критическое магнитное поле» ($H_{кр}$).

Информативным оказался изотопический эффект, заключающийся в том, что критическая температура сверхпроводимости возрастает при уменьшении атомной массы [59].

На рис. 8 показана зависимость электрического сопротивления H_3S и D_3S от температуры [60].

Данные, приведённые на рис. 8, демонстрируют изотопический эффект, проявляющийся в гидриде серы при замене атомов водорода на атомы дейтерия. Четырёхзондовые измерения электрического сопротивления гидрида водорода H_3S и его дейтерированного аналога D_3S показывают резкое падение сопротивления до нуля Ом как в H_3S при 195 К (141 ГПа), так и в D_3S при 163 К (154 ГПа).

давлений невозможно использовать стандартные методы, привычные для обычных университетских физических лабораторий.

Например, такие традиционные методы, как фотоэмиссионная спектроскопия с угловым разрешением или сканирующая туннельная микроскопия, здесь просто не работают.

Наиболее детальную информацию позволяют получить SQUID, которые способны измерять ультранизкие магнитные поля. Хорошие результаты были получены, когда «SQUID – magnetometer» использовался совместно с алмазной наковальней [57, 58].

Кроме измерения электрического сопротивления, для более точной иден-

OLED-дисплей Raystar

Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м² обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 10 000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светозмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от –40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

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

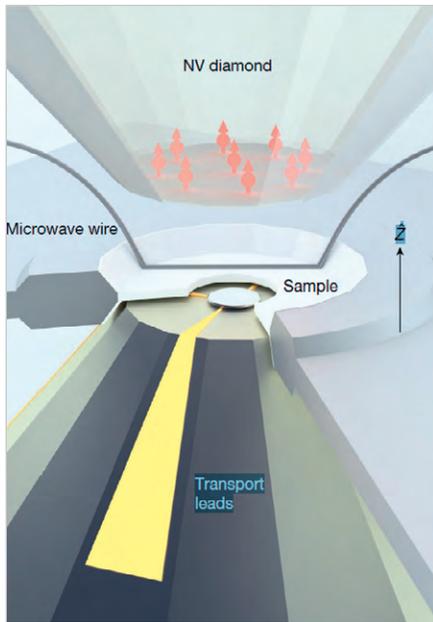


Рис. 10. Схема модернизированной алмазной наковальни с искусственными азотозамещёнными вакансиями в алмазе (NV)

В экспериментах с магнитными полями, прежде всего, оценивают эффект Мейснера. Однако этот эффект очень мало заметен в H_2S и других гидридах с высоким значением вихревого пиннинга. Поэтому для этого рода сверхпроводников дополнительную информацию о наличии эффекта Мейснера можно получать с использованием резонансного ядерного рассеяния. С другой стороны, при сильном пиннинге в сверхпроводниках второго рода ярко выражен эффект захваченного магнитного потока, который наблюдается после выключения магнитного поля. Это явление представляет собой одно из наиболее убедительных доказательств сверхпроводимости.

На рис. 9 показана температурная зависимость захваченного магнитного момента в сверхпроводящем H_2S при давлении 155 ГПа, генерируемом в условиях полевого охлаждения в различных магнитных полях $\mu_0 H_M$ (5–3000 мТ) [61].

Кривые на рис. 9 получены в режиме FC (Field Cooling), при котором измерения намагниченности материала проводились в режиме его охлаждения в присутствии внешнего магнитного поля.

Метод захваченного потока в сочетании с алмазной наковальней, оснащённой микроячейкой SQUID, позволяет значительно уменьшить фоновые шумы.

При исследовании сверхпроводимости в гидридах и других сверхпроводниках второго рода комбинирован-

ные измерения захваченного потока, электропроводности и магнитной восприимчивости позволяют получать параметры, которые однозначно идентифицируют эффект сверхпроводимости. Среди этих параметров, в первую очередь, нужно отметить такие, например, как: критическая температура ($T_{кр}$), нижняя граница критического поля ($H_{кр}$), глубина проникновения поля (λ), ползучесть вихря, критическая плотность тока и другие. Кроме того, дополнительная информация может быть получена с помощью ядерного резонансного рассеяния и инфракрасной спектроскопии [60].

В мартовском номере журнала «Nature» (Vol 627, March 2024) была опубликована статья, описывающая новое устройство, которое было специально разработано для прецизионного определения магнитных эффектов, характеризующих сверхпроводимость [62].

Одним из недостатков традиционной конструкции «алмазной наковальни» (АН) в комбинации со SQUID является то, что с помощью стандартного датчика, который усредняет информацию по всей геометрии измерительной микроячейки, расположенной на острие АН, чрезвычайно сложно отобразить геометрию локальных сверхпроводящих участков образца и измерять их конкретные свойства. Тем самым отбрасывается информация, скрытая в локальных пространственных областях сверхпроводника. Предложенная в этой работе конструкция АН даёт возможность выполнять магнитометрию с пространственным разрешением в непосредственной близости к образцам гидрида. При этом обеспечивается повышенная чувствительность к полю при локальных измерениях эффекта Мейснера и захвате потока.

Новая конструкция АН оснащена искусственными азото-замещёнными вакансиями в алмазе (NV – nitrogen-vacancy center). Такие центры образуются при удалении атома углерода из узла решётки и связывании образовавшейся вакансии с атомом азота. Уникальность NV заключается в том, что электронные спины индивидуального центра легко управляются лучом лазера, а также магнитным, электрическим и микроволновым полями. Таким образом, меняя спин NV-центра, можно использовать его как атомный логический элемент [63].

Схема модернизированной алмазной наковальни с искусственными азото-

замещёнными вакансиями в алмазе (NV) показана на рис. 10 [62].

На рис. 10 образец SeH_9 сжимается двумя конусами АН. Верхняя наковальня содержит слой NV-центров, плотностью около 1 ppm, расположенный примерно на 50 нм ниже поверхности калетты (острие огранки алмаза). Для измерений ODMR (оптическое детектирование магнитного резонанса) используется платиновая проволока, размещённая на верхней калетте. С помощью ODMR реализуется оптическая накачка, необходимая для инициализации и считывания спина NV центра.

Важно то, что в конструкции кристалла огранка совместима с внутренней симметрией азотозамещённых вакансий, обеспечивая тем самым функциональность устройства при огромных давлениях. Эта новая конструкция АН была успешно использована для одновременных измерений резкого падения электрического сопротивления практически до нуля, а также для исследования параметров диамагнетизма, характеризующих эффект Мейснера в гидриде церия SeH_9 .

Полученные экспериментальные результаты согласуются с теорией БКШ (BCS – theory Bardeen-Cooper-Schrieffer) и моделью Мигдала-Элиашберга (Migdal-Eliashberg theory) [64]. Судя по этим расчётам, вероятнее всего сверхпроводимость в гидридах возникает преимущественно за счёт лёгких атомов водорода.

Приведённое выше достаточно подробное описание способов и методик изучения явления сверхпроводимости было сделано для того, чтобы показать, что, с одной стороны, за время, прошедшее с момента открытия эффекта сверхпроводимости, наука добилась значительных успехов. На сегодняшний день за исследования сверхпроводимости было присуждено пять различных Нобелевских премий. С другой стороны, современные эксперименты в области сверхпроводимости крайне сложны, требуют уникального дорогостоящего оборудования и под силу только нескольким ведущим лабораториям мира.

В заключение этого раздела необходимо отметить, что огромный вклад в развитие теории сверхпроводимости внесли российские учёные, такие как, например, Лев Ландау, Виталий Гинзбург, Пётр Капица, Лев Шубников, Исаак Кикоин, Давид Киржниц, Евгений Максимов, работы которых были высоко оценены различными международными премиями. Виталий Гинз-

бург в 2003 году получил Нобелевскую премию по физике за вклад в развитие теории сверхпроводимости и сверхтекучести. Нужно отметить, что в СССР придавалось особое значение проблеме сверхпроводимости, и на эти исследования отпускались по тем временам огромные для страны деньги. К сожалению, с распадом СССР этой проблеме стали уделять значительно меньше внимания, и большинство научных центров было репрофилировано. Сегодня работы по сверхпроводимости проводятся в РФ как в рамках целевой программы АН РФ, так и в соответствии с международными грантами. Координирующей организацией по этому направлению является «Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга» [65].

Литература

- URL: <https://xn--webeducation-dbb.com/superconductivity-and-the-meissner-effect-explained/>.
- URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-30782-x>.
- URL: <https://aiimpacts.org/historic-trends-in-the-maximum-superconducting-temperature/>.
- URL: www.bit.ly/3xNCMH2.
- URL: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.95.1435>.
- URL: <https://atomvestnik.ru/2023/03/30/pionery-sverhprovodimosti/>.
- URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6668/aa7976>.
- URL: www.electronics.ru/files/article_pdf/4/article_4745_112.pdf.
- URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Niobium%E2%80%9393tin>.
- URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00657172>.
- URL: <https://URL: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921453423001624>.
- URL: <https://journals.aps.org/prmaterials/abstract/10.1103/PhysRevMaterials.4.091202>.
- URL: <https://gc.lebedev.ru/lab-andreev/>.
- URL: <https://URL: www.science.org/doi/10.1126/science.235.4794.1373>.
- URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1143/JJAP.26.L327/pdf>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s42254-021-00324-3>.
- URL: www.bit.ly/44821zK.
- URL: www.bit.ly/4aLk1T1.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/362226a0>.
- URL: <https://URL: www.mdpi.com/1420-3049/26/7/1862>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/363056a0>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/365323a0>.
- URL: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.50.4260>.
- URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1209/epl/i2005-10247-3/pdf>.
- URL: <https://URL: www.nexans.com/>.
- URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10267597>.
- URL: <https://interestingengineering.com/innovation/china-inaugurates-35-kv-superconducting>.
- URL: https://URL: www.ruscable.ru/article/Sozдание_intellektualnoj_elektroenergeticheskoy/.
- URL: <https://URL: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544222002651>.
- URL: <https://ufn.ru/ru/articles/2008/2/h/>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.21.1748>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.92.187002>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/nature14964>.
- URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Vander_Pauw_method.
- URL: <http://surl.li/swfgt>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/nature14964>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41467-019-10552-y>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/1508.06224>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.027001>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41586-019-1201-8>.
- URL: <https://cpl.iphy.ac.cn/10.1088/0256-307X/37/10/107401>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/1909.10482>.
- URL: <https://arxiv.org/pdf/1908.01534.pdf>.
- URL: <https://URL: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369702119308077>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41467-022-30454-w>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.167001>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/2101.02846>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.127.117001>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/2307.11742>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41586-024-07026-7>.
- URL: <https://URL: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095927322000779?via%3Dihub>.
- URL: <https://URL: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369702121001309>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/2203.14353>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/2204.04623>.
- URL: <https://arxiv.org/abs/2203.06500>.
- URL: <https://cpl.iphy.ac.cn/10.1088/0256-307X/40/5/057404#1>.
- URL: <https://jorge.physics.ucsd.edu/lockedarxiv/materialsarxiv.pdf>.
- URL: <http://surl.li/swfgt>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41467-022-30782-x>.
- URL: <https://home.csulb.edu/~abill/research/articles/reviewIE.pdf>.
- URL: <https://doi.org/10.1038/s41563-023-01769-w>.
- URL: <http://surl.li/swfgt>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41586-024-07026-7>.
- URL: <https://URL: www.nature.com/articles/s41534-023-00724-6>.
- URL: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.108.1175>.
- URL: <https://gc.lebedev.ru/>.



НОВОСТИ МИРА

В России освоили сложный капитальный ремонт авиационных двигателей CFM56, которые используются в самолётах Airbus A320 и Boeing 737

Компания S7 Technics, входящая в S7 Group, освоила сложный капитальный ремонт двигателей CFM56-5B и 7B, которые используются в самолётах Boeing 737 и Airbus A320. Об этом

сообщает газета «Коммерсантъ», ссылаясь на источники в трёх авиакомпаниях. Эта услуга может быть весьма востребованной, поскольку в России насчитывается около 800 двигателей CFM56, установленных на самолётах.

S7 Technics освоила капитальный ремонт модулей турбины низкого давления, компрессора низкого давления и газогенератора (горячей части). По словам Алексея

Синицкого, директора по исследованиям и разработкам компании Infomost Consulting, CFM56 является одним из наиболее распространённых авиадвигателей в мире. Силовая установка характеризуется длительным сроком службы – 40–60 тысяч лётных часов или 10–20 тысяч взлётно-посадочных циклов без снятия с крыла (примерно 8–12 лет).

industry-hunter.com

Открытие квантовых точек и разработка технологии их массового производства

Часть 3. Технология синтеза коллоидных квантовых точек

Виктор Алексеев

Данная статья посвящена конкретному вкладу каждого из трёх лауреатов Нобелевской премии по химии в 2023 году. В первой части рассмотрены общие аспекты нанокристаллов как заключительной триады полупроводников с квантово-размерным эффектом и описано открытие квантовых точек в стеклянных матрицах, сделанное Алексеем Екимовым в 1981 году в ГОИ им. Вавилова. Вторая часть посвящена коллоидным квантовым точкам, впервые полученным в виде сухого порошка Луисом Брюсом. В третьей части статьи подробно рассмотрена технология синтеза коллоидных квантовых точек, разработанная Мунги Бавенди. Эта технология позволила организовать бурно развивающееся в настоящее время массовое производство квантовых точек для различных приложений, начиная с медицины, электронных компонентов и заканчивая катализом в промышленных масштабах.

Мунги Бавенди – разработка базовой технологии промышленного производства квантовых точек

Мунги Бавенди (Moungi Bawendi) родился 15 марта 1961 года в Париже. Его отец, тунисский математик Мохаммед Салах Бавенди, в конце 1970-х получил должность профессора в американском «Университете Пердью», штат Индиана, и семья переехала в США.

Мунги Бавенди получил классическое американское образование. После окончания средней школы в 1978 году Мунги Бавенди продолжил образование в Гарварде (Harvard University), где защитил диплом бакалавра в 1982 году и степень магистра управления среднего звена (MBA) в 1983 году. Затем Бавенди продолжил научное образование в аспирантуре (APD) Чикагского университета (University of Chicago).

Во время учёбы в аспирантуре Бавенди проходил летнюю практику в Bell Labs под руководством Луиса Брюса. Здесь Мунги Бавенди впервые познакомился с тематикой коллоидных полупроводниковых микрокристаллов.

В 1988 году он защитил докторскую диссертацию (PhD), которая носила чисто теоретический характер, на тему «Статистическая механика во взаимодействии с квантовой механикой при образовании многоатомных молекул» [1].

Для прохождения двухгодичной стажировки после защиты диссертации (Postdoctoral Level) он выбрал Bell Lab, куда и был принят по рекомендации Луиса Брюса.

Как отмечает сам Мунги Бавенди, к профессиональной химической лабораторной деятельности он практически не был подготовлен. Во многом преодолеть этот недостаток ему помог Майк Штайгервальд (Mike Steigerwald), один из ведущих специалистов в области теоретической и экспериментальной химии, который был удостоен звания «Почётный член технического персонала Bell Lab». По словам Мунги Бавенди, Майк Штайгервальд не только объяснял и показывал ему основные приёмы экспериментальной химии, но также позволял самостоятельно проводить синтез микрокристаллов в своей лаборатории.

В своих нобелевских лекциях и Мунги Бавенди, и Луис Брюс выразили особую благодарность Майку Штайгервальду и отметили его как специалиста высочайшей категории, который на практике проверял все их бесконечные идеи с заменами один на другой режимов и реагентов.

Несмотря на прорывной характер и огромную популярность работ Луиса Брюса с микрокристаллами CdS, коллоидные полупроводниковые точки (КТ), описанные в предыдущем разделе, имели один крайне существенный недоста-

ток: большой разброс параметров в каждой серии экспериментов. Это означало, что использованный Луисом Брюсом метод синтеза КТ не мог быть применён в массовом производстве.

Основная проблема заключалась в том, что как сами КТ, так и электронные компоненты, изготовленные на их основе, должны были иметь допустимый разброс параметров, не превышающий долей процента.

Однако усилия многочисленных лабораторий по всему миру, участвовавших в этой проблеме, не приводили к желаемым результатам.

К решению этой задачи, которая была крайне актуальна и в Bell Lab, подключился молодой постдокторант Мунги Бавенди. В своей нобелевской лекции он особенно подчеркнул, что работал в коллективе сотрудников, вклад которых в эту премию неоспорим. Имена конкретных людей, участвовавших в конкретных исследованиях, включены в авторский коллектив статей, опубликованных по результатам выполненных работ. Поэтому, говоря в этой статье о достижениях Мунги Бавенди, каждый раз под этим именем понимается группа сотрудников, которой он руководил.

Один из «базовых» для того времени в Bell Lab способов приготовления микрокристаллов CdSe, основанный на использовании агрегатов поверхностно-активных веществ (ПАВ), включал следующие основные этапы.

Синтез и покрытие кристаллитов CdSe проводились в мицеллярной среде (Aerosol-OT) с использованием стандартной инертной атмосферы и дезоксигенированных растворителей. Частицы (CdSe)Ph блокировались ионами Cd и Se-фенильными группами в водном растворе $Cd(C_{10},)_2$.

Затем по каплям добавляли водный раствор $Zn(C_{10},)_2$ и разведённый в гептане тиофенол. После введения необходимых микрообъёмов пиридина (Pyridine) возникали твёрдые микрокристаллы CdSe. Образовавшийся крас-

ный порошок отфильтровывали и промывали.

Несмотря на многочисленные комбинации режимов и реагентов, полученные таким образом микрокристаллы оставались неоднородными по структуре и размерам. Поэтому Мунги Бавенди попытался контролировать рост кристаллитов, проводя реакцию в растворах обратных мицелл АОТ/ H_2O /гептан.

Целесообразно отметить, что мицеллы (Micelle) представляют собой сложные комплексные образования, состоящие из смеси молекул ПАВ в коллоидном растворе. Наряду с мицеллами в растворе могут существовать и неприсоединённые молекулы. Мицелла состоит из ядра и оболочки (рис. 1). Различают два типа мицелл. В «прямых мицеллах» (Direct Micelle – DM) ядро образовано гидрофобными радикалами, а гидрофильные группы составляют внешнюю оболочку. В «обратных мицеллах» (Inverse Micelle – IM), наоборот, гидрофильные группы (CdSe) формируют ядро, а гидрофобные – внешнюю оболочку.

Было выяснено, что описанные выше металлоорганические реакции в растворе обращённых мицелл дают хороший выход микрокристаллов CdSe. Кроме того, было показано, что соотношение H_2O /АОТ существенно влияет на размер конечных кристаллов [3].

Тем не менее идеологи этой методики Луис Брюс, Майк Штайгервальд и Пауль Аливисатос были недовольны полученными результатами и решили ещё раз поэкспериментировать с реактивами, заменяя чистый пиридин другими его производными (Pyridine Derivatives). Эту задачу они поручили молодому постдокторанту Мунги Бавенди, которому Майк Штайгервальд выдал все производные пиридина, которые только были в его лаборатории.

Задача Бавенди была достаточно простая – изо дня в день повторять один и тот же эксперимент, меняя каждый раз реагент с пиридиновым кольцом и измеряя затем спектры рассеяния и поглощения.

В череде рутинных экспериментов очередная комбинация параметров дала неожиданные результаты. Вот как рассказывает про это событие сам Мунги Бавенди в своей нобелевской лекции: «Произошло действительно какое-то волшебство, потому что мы действительно не очень хорошо понимали, что происходит. Мы обнаружили, что эти частицы росли и меняли цвет при

этом. В конце процесса мы получили удивительные образцы, которые давали великолепные чёткие спектральные пики: намного лучше, чем мы видели раньше» [4].

С помощью Майка Штайгервальда удалось выяснить, что во время «магического эксперимента» вместо пиридина был использован оксид триоктилфосфина (Trioctylphosphine Oxide). Для того чтобы понять, в чём заключается «магическое действие» этой замены, нужно было бы привести все этапы реакций и их объяснений с точки зрения теоретической и экспериментальной органической химии, а также квантовой химии и квантовой физики. К счастью, такой подход выходит за рамки задач данной статьи. Желающие могут получить исчерпывающую информацию из оригинальных публикаций, ссылки на которые приведены в этой статье.

В итоге было обнаружено, что в растворе с обратными мицеллами, содержащем варьируемые количества трибутилфосфиноксида, при нагреве до 220°C изменялся цвет раствора, смещаясь в красную область спектра в зависимости от времени. При этом в спектре появлялся явно выраженный экситонный пик в районе длины волны 550 нм. Размер микрокристаллов увеличивался в течение 2 часов до 3–4 нм. Рентгенограммы, полученные для трёх различных типов нанокластеров CdSe размерами от 35 до 40 Å, показали, что спектры пиролизных частиц CdSe, выращенных в растворах с обратными мицеллами и легирующими добавками ZnS, больше всего соответствовали спектрам кристаллических структур вюрцита цинка (кристаллическая модификация сульфида цинка с гексагональной структурой). Электронная микроскопия и измерения брэгговского рентгеновского рассеяния указывали на то, что полученные Мунги Бавенди и его коллегами микрокристаллы имеют ту же структуру и элементарную ячейку, что и объёмный полупроводник. Эти результаты, опубликованные в статье [5], вселяли оптимизм. Поэтому исследования молодых учёных продолжились с ещё большим энтузиазмом. В одной из серий экспериментов, проведённых Мунги Бавенди и его коллегами, использовался Phenylselenotrimethylsilane – PhSeTMS, который вытеснял ПАВ и взаимодействовал с поверхностью, обогащённой молекулами кадмия. Когда фенильные группы химически связывались с кристаллитом, он становился гидрофобным. В результате на поверхности ядра обрат-

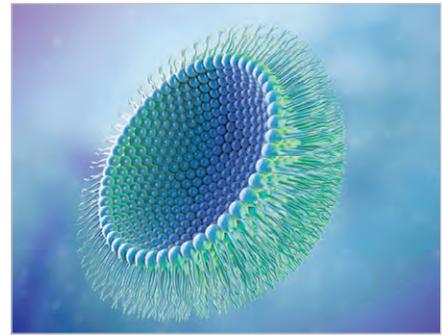


Рис. 1. В структуре обратной мицеллы гидрофильные группы (CdSe) формируют ядро, а гидрофобные – внешнюю оболочку [2]

ной мицеллы возникал прочно удерживаемый слой ионов. Между ядром и раствором, окружающим коллоид, создавался термодинамический потенциал, под влиянием которого из раствора притягивались ионы противоположного знака, располагавшиеся вокруг ядра двумя слоями. Этот процесс можно объяснить следующим образом. Первый слой определяется электростатическими силами потенциалоопределяющих ионов. Второй слой, образованный за счёт электрокинетического заряда, обладает способностью к эквивалентному обмену на ионы того же знака заряда из окружающего раствора.

Электростатические силы заряженной поверхности твёрдой фазы притягивают ионы противоположного знака, создавая градиент их концентрации в пределах диффузного слоя. С другой стороны, тепловое движение ионов стремится выровнять концентрацию ионов во всём объёме раствора. В результате устанавливается некоторое равновесное состояние, прекращающее рост ядра обратной мицеллы. При этом внешняя оболочка прочно сохраняет форму образовавшегося кристаллита. Размеры ядра определяются температурой и концентрациями реактивов. Полученная структура предотвращает слияние кристаллитов и позволяет извлекать в виде сыпучего порошка «чистые» и прочные микрокристаллы, покрытые защитной оболочкой.

Кроме того, экспериментально и теоретически было показано, что спектр вторичного излучения полупроводниковых коллоидных микрокристаллов (КТ), обусловленный возбуждённым состоянием, можно изменять путем модификации поверхностного слоя.

Результатом этих работ стала публикация 1990 года Мунги Бавенди в соавторстве с Луисом Брюсом и Михаэлем Штайгервальдом [6].

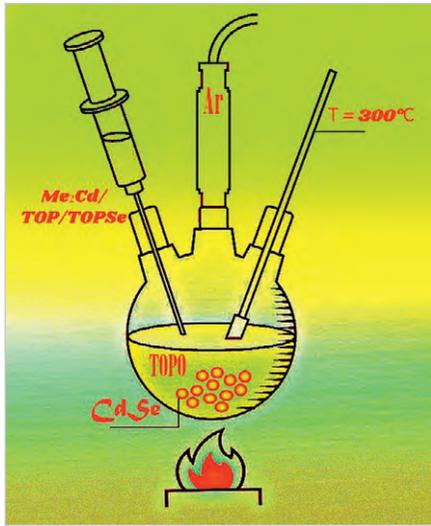


Рис. 2. Упрощённая схема синтеза квантовых точек CdSe методом «горячего впрыска», предложенная Мунги Бавенди (в нагретый до 300°C раствор ТОРО в атмосфере аргона впрыскивалась смесь $\text{Me}_2\text{Cd}/\text{TOP}$ и TOPSe/TOP) [8]

Эти статьи, написанные во время стажировки в Bell Lab и привлёкшие внимание широкой научной общественности, позволили Мунги Бавенди после окончания стажировки в Bell Lab получить в 1990 году должность доцента в Массачусетском Технологическом Институте (Massachusetts Institute of Technology – MIT), где он продолжил заниматься проблемой синтеза коллоидных квантовых точек. В этих исследованиях ему помогали два аспиранта (PhD): Давид Норрис (David J. Norris) и Кристофер Мюррей (Christopher B. Murray).

Прежде всего, они попытались усовершенствовать разработанную в Bell Lab методику, которая была основана на синтезе в коллоидных водных растворах и дальнейшем проращивании кристаллов в среде обратных мицелл. Основным недостатком этих методов был большой разброс микрокристаллов по размерам. Поэтому было принято решение полностью отказаться от водных коллоидных растворов.

В поисках подходящего решения, перебирая литературу, Мунги Бавенди наткнулся на «старинную» статью, написанную ещё в 1950 году [7].

В этой статье Виктор Ламер (Victor K. LaMer) и Роберт Динегар (Robert H. Dinegar) рассмотрели способы получения монодисперсного гидрозоля серы при медленном разложении производной тиосульфата (HS_2O_3 – Trioxidosulfanidosulfate) в разбавленной соляной кислоте. Они показали, что, в зависимости

от концентрации реагентов, процентного содержания воды, температуры и других параметров проведения реакции, образовывались различные сочетания молекул растворённой серы и ионов бисульфита.

Внимание Мунги Бавенди привлёк тот факт, что быстрое увеличение концентрации реагентов, а также разбавление раствора водой и последующее охлаждение приводят к резкому пересыщению. Это, в свою очередь, вызывает процесс нуклеации (зародышеобразования) кристаллов серы. На данной стадии фазового перехода из исходной метастабильной фазы образуется основное число устойчиво растущих зародышей новой, стабильной фазы. Ключевым моментом здесь является то, что процесс нуклеации можно инициировать в строго заданный момент времени (рис. 2).

Мунги Бавенди с сотрудниками решили отказаться от обратных мицелл и использовать для синтеза вариант «горячего впрыска» (Hot Injection). Идея заключалась в том, что в нагретый до высоких температур координационный растворитель быстро впрыскивался раствор прекурсоров металла Cd и халькогена Se.

При этом инициировался процесс нуклеации и начиналось образование микрокристаллов. При охлаждении раствора рост кристаллов останавливался. Однако при повторном нагревании рост микрокристаллов возобновлялся, благодаря «эффекту Оствальда».

Пройдя многочисленные промежуточные этапы проб и ошибок, Мунги Бавенди разработал технологию создания полупроводниковых квантовых точек, которая, несмотря на все исследования, проведённые за последние 30 лет, даже сегодня является базовой для подавляющего большинства методов синтеза КТ.

Для того чтобы понять, за что именно Мунги Бавенди получил Нобелевскую премию, имеет смысл описать разработанную им технологию немного подробнее. Сегодня этот простой метод, описанный практически во всех учебниках, известен любому студенту, специализирующемуся в области нанотехнологий. Однако до 1993 года никто не предполагал, что всё окажется так просто и надёжно. В оригинальной статье методика синтеза коллоидных квантовых точек CdSe детально описана следующим образом [9].

На базе фирменных реактивов готовились исходные растворы ТОРО и TOPSe (Triocetylphosphine Selenide). Рас-

твор ТОРО нагревали до 300°C в атмосфере аргона.

Затем смешивали предварительно подготовленные растворы $\text{Me}_2\text{Cd}/\text{TOP}$ и TOPSe/TOP и впрыскивали эту смесь в горячий раствор ТОРО.

При этом начинали формироваться микрокристаллы CdSe, и раствор приобретал насыщенный жёлто-оранжевый цвет, а температура резко падала до 180°C и удерживалась на этом уровне.

Часть раствора отбиралась, помещалась на хранение в отдельной герметичной ёмкости, а с помощью спектров поглощения и рассеяния определялись химический состав и размеры образовавшихся в этом образце микрокристаллов.

Температуру постепенно повышали, рост микрокристаллов продолжался, и через заданные интервалы времени (порядка 10 мин) отбирали очередную порцию раствора, которую помещали в свои собственные ёмкости. При этом для каждой пробы снимались спектры поглощения и рассеяния.

Таким образом, в одном подобном эксперименте удавалось получать микрокристаллы CdSe с размерами в диапазоне от 1,5 до 115 нм [10].

Выделение микрокристаллитов из отобранных проб раствора проводилось при температуре 60°C с помощью добавления к аликвоте соответствующего количества безводного метанола, что вызывало процесс флокуляции нанокристаллитов. Напомним, что термин «флокуляция» означает такую форму коагуляции, при которой мелкие частицы во взвешенном состоянии образуют рыхлые хлопьевидные скопления, то есть флокулы. Разделение и очистка были реализованы с помощью центрифугирования и последующей вакуумной сушки.

Полученный порошок диспергировался в безводном 1-бутаноле, образуя оптически прозрачный раствор. Добавление безводного метанола и обработка ультразвуком позволяли получать осадок, обогащённый самыми крупными кристаллитами в данном образце. Диспергирование осадка в 1-бутаноле и избирательное по размеру осаждение метанолом повторялось до тех пор, пока не было отмечено дальнейшее уменьшение ширины пика в спектре оптического поглощения.

Модификация внешней оболочки микрокристаллов CdSe, покрытых оболочкой ТОРО/TOP, реализовывалась с использованием метода многократного воздействия избытка конкурирующей блокирующей группы. Нагретую до 60°C

смесь микрокристаллитов и пиридина обрабатывали гексаном, что вызывало флокуляцию. Многократное повторение этого процесса и последующее центрифугирование позволяли получать микрокристаллы CdSe с необходимыми параметрами покрытия.

Квантовый выход CdSe, как правило, не превышает 5%. Запрещённая зона CdSe составляет 1,71 эВ. Для повышения квантового выхода и фотостабильности флуоресцирующие ядра CdSe покрывали слоем различных полупроводников со схожими структурой и составом, но с более широкой запрещённой зоной, таким как, например, ZnS (3,64 эВ). При замене лигандов гидрофобные молекулы, покрывающие КТ в органических средах, замещаются на гидрофильные с использованием тиольных групп, имеющих наибольшее сродство к поверхности ядра. Таким образом, носители заряда в ядре за счёт внешней оболочки отделяются от поверхностных ненасыщенных связей, которые ослабляют оптические характеристики.

Нанесение оболочки ZnS на ядра CdSe было реализовано методом нагревания диэтилцинка (Diethyl Zinc) и гексаметилдисилатиана (Hexamethyldisilathiane) в смеси TOP-TORO до температуры 140–230°C.

Подробно этот процесс описан в статье Мунги Бавенди и других соавторов [11].

В работе была предложена модифицированная методика, в которой на первом этапе в реактор помещали одновременно как ядра CdSe, так и прекурсоры цинка и серы [12].

Квантовые точки CdSe с покрытием ZnS показали увеличение квантового выхода люминесценции до 50% при комнатной температуре.

Таким образом, в результате экспериментов Мунги Бавенди были получены квантовые точки селенида кадмия с регулярной структурой, необходимой формой ядра, покрытые защитной оболочкой и с чётко определёнными размерами [13].

Типичная структура полупроводниковой квантовой точки с защитной оболочкой показана на рис. 3.

На рис. 4 показаны стилизованные оптические абсорбционные спектры, полученные при комнатной температуре для нанокристаллов CdSe, диспергированных в гексане с размерами от 1,2 до 11,5 нм (отрезок самой верхней кривой).

Следует подчеркнуть, что приведённая стилизованная кривая подчёркивает само наличие пиков. Для того чтобы

получить точные значения длин волн этих пиков, необходимо обратиться к оригинальной статье.

Приведённые результаты измерений включают спектры, начиная от квантовых точек с размерами, близкими к молекулярным, содержащих менее 100 атомов, и заканчивая спектрами кристаллических структур, содержащих более 30 000 атомов.

В целом вся исследованная серия продемонстрировала ярко выраженный квантово-размерный эффект, проявляющийся в сдвиге основных пиков в ультрафиолетовую область спектра по мере уменьшения размеров частиц.

Запрещённая зона CdSe соответствует квантовому ограничению, позволяющему синтезировать нанокристаллы CdSe с фотолюминесценцией, охватывающей большую часть видимого спектра.

В спектре мелких частиц чётко выражены два пика, соответствующие разрешённым переходам как, например, для КТ с диаметром 1,2 нм в районе 360 нм и 410 нм. С ростом размера частиц этот эффект сглаживается, поскольку запрещённые зоны становятся уже.

Суммируя результаты работ, которые стали основанием для присуждения Мунги Бавенди Нобелевской премии, можно сказать, что огромным преимуществом предложенной им технологии была адаптируемость и воспроизводимость методики. Модернизированный метод синтеза квантовых точек, разработанный Мунги Бавенди, в наши дни получил устоявшееся название «высокотемпературный металлоорганический синтез с использованием горячего впрыска» (organometallic chemical hot injection). Крайне важным было то, что этот метод могли воспроизводить и использовать все желающие разработчики, экспериментировавшие с синтезом полупроводниковых микрокристаллов для самых разных приложений. Таким образом, результат работы группы Мунги Бавенди стал краеугольным камнем для крупномасштабных применений полупроводниковых квантовых точек не только в науке, но также в массовом производстве, например, в телевизорах с экранами на квантовых точках.

Работы Мунги Бавенди защищены многочисленными патентами [15]. В настоящее время он продолжает свои исследования наноматериалов. Наряду с преподавательской деятельностью в MIT Бавенди занимается как чисто теоретическими вопросами, связанными с

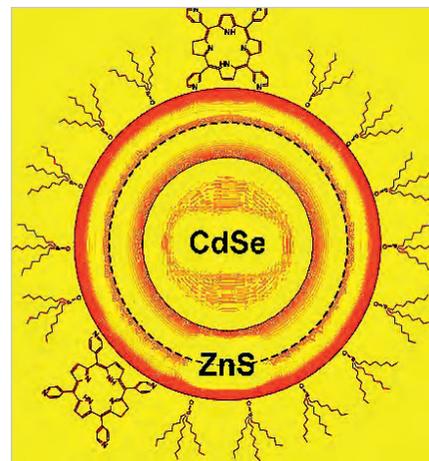


Рис. 3. Типичная структура полупроводниковой квантовой точки с защитной оболочкой [14]

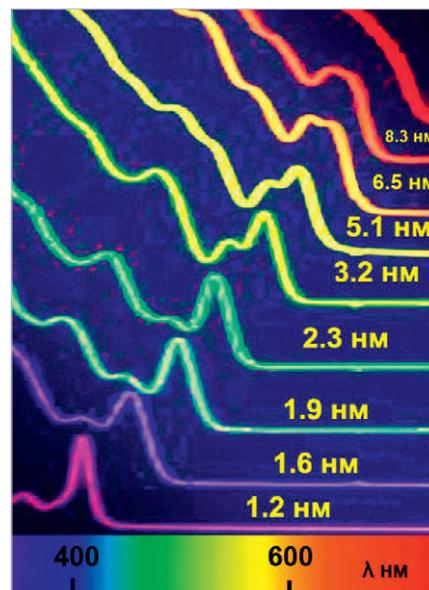


Рис. 4. Оптические абсорбционные спектры, полученные при комнатной температуре для нанокристаллов CdSe, диспергированных в гексане, с размерами от 1,2 до 8,3 нм

природой и моделированием КТ [16, 17, 18], так и задачами прикладного характера [19].

Квантовые точки вокруг нас

Человечество интуитивно использовало нанотехнологии на протяжении многих веков, основываясь на результатах случайных опытов.

Так, например, оказалось, что секретный древнеримский рецепт «омолаживания», окрашивающий седые волосы, основан на образовании внутри волосяных фолликул наночастиц сульфидов свинца размером примерно 5 нм [20]. Следует отметить, что и в настоящее время сульфиды добавляют в вино для прекращения брожения.



Рис. 5. Кубок Ликурга меняет цвет в зависимости от угла падающего на него солнечного света благодаря наличию в стекле наночастиц коллоидного золота и серебра с размерами около 50 нм

Тайна кубка Ликурга, работы IV века, обладающего волшебным свойством менять цвет с зелёного на ярко-красный в зависимости от времени года, оставалась нераскрытой в течение пятнадцати веков (рис. 5).

Только в конце 1990-х годов британские учёные обнаружили, что цвет кубка изменяется в зависимости от угла падающего на него солнечного света. Проведённые с помощью электронной микроскопии исследования показали, что этот эффект обусловлен наличием в стекле наночастиц коллоидного золота и серебра с размерами около 50 нм [21].

Стекла для знаменитых венецианских витражей, тайна изготовления которых была утеряна, в настоящее время можно получать с помощью добавления нанокристаллов CdS или CdSe к силикатному стеклу в аморфных пересыщенных растворах. Причём цвет стекла можно произвольно варьировать, изменяя процедуры синтеза и отжига [22].

Эти и другие примеры говорят о том, что многие «чудеса» прошлого можно сегодня объяснить, основываясь на открытиях квантовых точек, сделанных Екимовым, Брюсом и Бавенди десятки лет назад.

Работы этих учёных вызвали огромный интерес к новой категории нановеществ во всём мире и сделали это направление одним из самых популярных у молодого поколения исследователей. Сегодня в большинстве крупных исследовательских университетов есть кафедры или лаборатории, занимающиеся нанонаукой и нанотехнологиями.

Нанотехнологии используют инструменты физики полупроводников, органической и неорганической химии, молекулярной биологии и биотехнологии. Область применения нанокристаллов охватывает огромный диапазон

приложений от квантовых технологий в современной электронике и нанометок в молекулярной биологии до катализа различных материалов в промышленных масштабах.

Исторически сложилось так, что первые квантовые точки (КТ) в прикладном плане были использованы в биологии и медицине. Интеграция неорганических нанокристаллов в биологические системы стала возможной благодаря синтезу водорастворимых квантовых точек с высоким оптическим качеством. Такие модифицированные квантовые точки представляют собой новый инструмент для маркировки биомолекул, как снаружи, так и внутри клеток [23].

Современные медицинские системы на базе КТ позволяют диагностировать повреждённые органы на молекулярном уровне и доставлять лекарства точно в нужные клетки [24].

Квантовые точки можно модифицировать таким образом, чтобы на поверхности закреплялись светочувствительные молекулы, которые разогреваются под действием флуоресцентного излучения самой КТ. Модифицированные КТ доставляются непосредственно в раковые новообразования и облучаются УФ-светом определённой длины волны, вызывая нагрев за счёт люминесценции. Этот метод, разрушающий раковые клетки за счёт нагрева, получил название фототермической терапии (ФТТ) [25, 26].

Специально синтезированные и отобранные углеродные квантовые точки с высокими квантовыми выходами флуоресценции используются в качестве меток клеток живых организмов [27].

Очень перспективным представляется метод отслеживания единичных случаев поведения вирусов (Single Virus Tracking – SVT) с помощью квантовых точек. Новая технология, разработанная в период всплеска эпидемии коронавируса, позволила отслеживать траектории проникновения в клетку отдельных вирусов с нанометровой точностью в режиме реального времени в интервалах сотых долей микросекунды [28].

Оригинальное решение было предложено для контроля переноса жидкостей в различного типа трубопроводах. Так называемые квантовые маркеры-репортёры, которые представляют собой уникальные комбинации полупроводниковых нанокристаллов (КТ), инкорпорируются в тонких полимерных плёнках, растворимых в жидкостях определённого типа, например, в воде, бензине, нефти и других. Эти плёнки уста-

навливаются на фильтры на конкретном участке трубопровода. При растворении плёнки набор квантовых точек попадает в жидкость. На участке контроля определяется уникальный спектр люминесценции, сформированный комбинацией квантовых точек различного размера и состава [29].

Квантовые точки прочно внедрились в сферу электронной промышленности. В первую очередь это касается нового поколения светодиодов, получивших название «светодиоды на квантовых точках» (QD-LED). В этих устройствах используется основное преимущество квантовых точек, которое заключается в том, что при облучении внешним мягким ультрафиолетом они излучают свет в очень узком направленном диапазоне.

Квантовые светодиоды имеют лучшие углы обзора. Так, например, под углом 60 градусов яркость QD LED выше на 34%, а сдвиг цвета на 50% меньше по сравнению с OLED [30].

Сегодня высококачественные дисплеи на квантовых точках крупные производители производят уже в коммерческом масштабе. Характеристики этих дисплеев кажутся фантастическими. Например, QD-OLED дисплей Samsung 8K UHD имеет разрешение 7680×4320 пикселей и может передавать более миллиона оттенков различных цветов [31] (рис. 6).

Судя по обилию и разнообразию публикаций о новых образцах, следует ожидать, что в ближайшем будущем видеотехника, использующая технологии QD LED, постепенно будет вытеснять устройства на базе традиционных люминофоров [32].

Одна из последних разработок QD-LED, по существу, представляет собой устройство, содержащее полупроводниковые квантовые точки и вентильную схему, которая обеспечивает спектральную настройку переходов и детерминированный контроль заряженных состояний (рис. 6). Схема обеспечивает однофотонное излучение без мерцания. Спектральный анализ показал расширение спектра не более 9 нс. Это устройство может быть использовано для высокоскоростных перестраиваемых квантовых источников света [33].

Использование квантовых точек позволяет существенно повысить эффективность солнечных батарей. Добавление КТ на основе оксида олова в качестве дополнительного транспортного слоя позволило более эффективно переносить электроны, вырабатываемые перовскитом под действием солнечного излуче-

ния. Такой подход позволил получить эффективность преобразования солнечной энергии равной 25,7% [34].

В другой интересной новой публикации описана модернизированная конструкция квантовых точек, предназначенная для устройств преобразования солнечного света. В этой схеме ядро КТ на основе селенида свинца было легировано марганцем и покрыто оболочкой из селенида кадмия. В такой конструкции роль наномангитов выполняют ионы марганца. При этом магнитные спины атомов марганца взаимодействуют как с ядром квантовой точки, так и с её оболочкой. Вследствие чего возникает эффект «спин-обменного умножения носителей», при котором одиночный поглощённый фотон генерирует две электронно-дырочные пары. Благодаря чрезвычайно высокой скорости спин-обменных взаимодействий магнитно-легированные квантовые точки демонстрируют трёхкратное увеличение выхода носителей по сравнению с нелегированными квантовыми точками с аналогичной структурой [35].

Перспективным представляется направление, связанное с люминесцентными солнечными концентраторами на квантовых точках (Quantum Dots Luminescent Solar Concentrators – LSC). Идея LSC заключается в том, что квантовые точки типа $\text{CuInSe}_2\text{-xSx}$ (CISes) поглощают солнечное излучение в инфракрасной области и эффективно излучают в процессе флуоресценции в несколько смещённом спектре. Этот метод в принципе позволяет превратить стандартные окна или боковые стены дома в энергогенерирующие устройства.

Следует также отметить другой тип устройства фотопреобразования на базе КТ, использующий эффект размножения носителей, в процессе которого генерируется несколько электронно-дырочных пар из одного поглощённого фотона. Это уникальное свойство может найти применение в разработках новых лазерных устройств медицинского назначения [36].

Ещё один значимый сегмент приложений, в которых используются квантовые точки, относится к фотохимическим реакциям (ФХР), которые инициируются и протекают под воздействием излучения определённой длины волны. Возбуждая атомы или переводя молекулу в ионизированное состояние, внешнее излучение подготавливает химическое взаимодействие на макроуровне. Идея этого направле-

ния заключается в том, что потенциальные участники ФХР предварительно размещают на поверхности квантовых точек, эмитирующих вторичное стимулированное излучение под действием внешнего облучения.

Так, например, в работе [37] в качестве катализаторов ФТР использовался коллоидный раствор чувствительных к видимому свету квантовых точек селенида кадмия, которые испускали вторичное излучение, обеспечивающее энергию, необходимую для начала взаимодействия молекул. В результате фотохимической реакции циклоприсоединения образовывались биологически активные четырёхзамещённые циклобутановые фрагменты.

Этот тип реакций относится к классу циклоприсоединения, который является одним из наиболее важных при создании многих современных лекарств. Внедрение квантовых точек в эти процессы позволяет значительно повысить эффективность технологии и сократить расходы на её реализацию в промышленных масштабах.

Из примеров чисто утилитарных применений квантовых точек можно привести краску с добавлением КТ, позволяющую с помощью УФ-сканера быстро найти подверженные коррозии поверхности металлических корпусов самолетов, железнодорожных вагонов, машин и других аналогичных устройств и механизмов [38].

Приведённый краткий перечень примеров использования квантовых точек далеко не полностью охватывает весь диапазон приложений бурно развивающейся наноиндустрии. С каждым годом перечень новых разработок будет только расширяться.

Поэтому можно с уверенностью утверждать, что Нобелевская премия 2023 года была присуждена Алексею Екимову, Луису Брюсу и Мунги Бавенди вполне заслуженно, хотя и спустя десятилетия после того, как эти учёные сделали свои выдающиеся открытия.

Литература

- URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Moungi_Bawendi#cite_note-14.
- URL: <http://bit.ly/3uDZRKS>.
- URL: <http://bit.ly/49u6VIT>.
- URL: <http://bit.ly/42g5Lyt>.
- URL: <http://bit.ly/3STExdM>.
- URL: <https://bit.ly/3HAzQPB>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja01167a001>.
- URL: https://www.nobelprize.org/uploads/2023/10/fig1_ke_23.pdf.

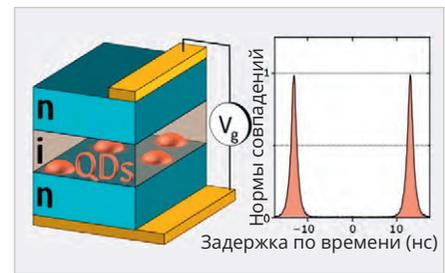


Рис. 6. Структурная схема сборки на полупроводниковых квантовых точках, предназначенная для высокоскоростных перестраиваемых квантовых источников света

- URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja00072a025>.
- URL: <https://www.nobelprize.org/uploads/2023/12/popular-chemistryprize2023-3.pdf>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp971091y>.
- URL: <https://www.osti.gov/biblio/196641>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp971091y>.
- URL: <https://bit.ly/48idNId>.
- URL: <https://patents.justia.com/inventor/moungi-bawendi>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.94.087403>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.111.177401>.
- URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.131.053603>.
- URL: <https://academic.ree.org/chemistry/publications.php?pid=63189>.
- URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17034086/>.
- URL: <https://goo.su/wLRPoyH>.
- URL: <https://inlnk.ru/dnPO0M>.
- URL: <https://goo.su/APISE>.
- URL: <https://www.dovepress.com/getfile.php?fileID=80458>.
- URL: <https://bit.ly/3k5kHxC>.
- URL: <https://bit.ly/3EgM7aB>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.5b05665>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.accounts.1c00276>.
- URL: <https://energyland.info/analytic-show-182009>.
- URL: <https://innovate.samsungdisplay.com/technology/>.
- URL: <https://bit.ly/3xz7qAk>.
- URL: <https://sid.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/msid.1306>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.nanolett.3c01658>.
- URL: <https://actu.epfl.ch/news/quantum-dots-boost-perovskite-solar-cell-efficiency/>.
- URL: <https://goo.su/Ni008NR>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscenergylett.2c00781>.
- URL: <https://www.nature.com/articles/s41557-019-0344-4>.
- URL: <https://goo.su/UBGiAC>.

Выставка ExpoElectronica 2024 и проблемы импортозамещения. Альтернативы китайским поставщикам

Андрей Кашкаров

С 16 по 18 апреля 2024 года в МВЦ «Крокус Экспо» в Москве проходила крупнейшая по количеству участников и посетителей в России и ЕАЭС международная выставка электроники ExpoElectronica. Более 760 российских и международных участников имели возможность продемонстрировать свою продукцию и рассказать о своих достижениях. Впервые были представлены секции «Робототехника» и «Цифровые решения». Выставка привлекла компании основных партнёров РФ в области современной электроники, среди которых КНР, Беларусь, ОАЭ, Киргизия. В то же время развивается непростая ситуация с поставками компонентов РЭА из Китая в Россию. Наш корреспондент проанализировал проблему и сделал некоторые выводы, которые могут быть полезны для налаживания поставок от зарубежных партнёров, переориентирования внимания с КНР на страны Индокитая и Африканского континента, а также совершенствования системы платежей по альтернативным цепочкам.

Ежегодная и ставшая традиционной выставка ExpoElectronica – одно из важнейших мероприятий в индустрии (рис. 1). Поскольку в одном месте собираются все ведущие российские разработчики и производители отрасли, это позволяет узнавать им друг о друге больше, а также совершенствовать взаимовыгодные связи, что и делается регулярно с 1991 года – года основания выставки. Вся цепочка производства РЭА от изготовления

компонентов до разработки и сборки конечных электронных систем можно увидеть в павильонах и на выставочных стендах. Редакция «СТА-ПРЕСС» под руководством главного редактора Ю.В. Широкова регулярно принимает участие в мероприятии.

Для читателя может быть особенно важным следующее. По количеству и статусу участников выставки можно оценить состояние сферы современной электроники в стране. Эти наблю-

дения и аналитика показательны не хуже любого канцелярского отчёта, стоит лишь внимательно посмотреть в список участников, изучить их профиль. Такая информация доступна на сайте выставки [1]. Среди ключевых российских участников выставки АО «Элемент», АО «Зеленоградский нанотехнологический центр», АО НПЦ «ЭЛВИС», АО «ДИЗАЙН ЦЕНТР «СОЮЗ», ООО «Микроволновая Электроника», АО «ВЗПП-С», АО «Восход» – Калужский радиоламповый завод, ООО «Имотэк», АО «МикроЭМ», ООО «МикроЭМ Технологии», ПАО «Завод Атлант», АО «Завод «Копир», АО «Завод Электрон», АО «Электросоединитель», АО «Карачевский завод «Электродеталь», АО «РОСЭЛЕКТРОНИКА», Золотой Шар, ООО «АЕДОН», ООО «Ай-Си Контракт», АО «Радиант-ЭК», ООО «Теллур Электроникс», ООО «Симметрон ЭК», ООО «ПТ-Электроник», ООО «РУ Электроникс», R&C Alliance Electronics, ООО «Промтехпоставка», Остек, ГК «Диполь», ООО «Совтест АТЕ», ООО «Глобал Инжиниринг», ООО «Авантех», ООО «СПБЦ «ЭЛМА», ООО «ЭСТ-СМТ», АО «НПП «ЭСТО», ООО «ТехноПрист», ООО «ПЛАНАР» и многие другие [1].

Также мы можем проанализировать список иностранных участников, который вполне соответствует кругу основных партнёров современной электронной промышленности нашей страны. В выставке ExpoElectronica 2024 участвовали 346 партнёров из Китайской Народной Республики, 8 партнёров из Беларуси, в том числе минский завод «Планар КБТЭМ», один партнёр из ОАЭ – «Perfect International Trading FZE» – и партнёр из Киргизии «Lantan Bishkek». Данный перечень отражает современное состояние сотрудничества российских и зарубежных производителей. И, как видим, наибольшее число зарубежных партнёров традиционно – за последние десятилетия – из Китая. Разумеется, это не значит, что у отечественных производителей нет партнёрских отношений с другими странами, но показывает основные тенденции



Рис. 1. Фото с выставки ExpoElectronica

сотрудничества. Если проанализировать по отчётам предыдущую аналогичную выставку 2023 года (она была по счёту 25-й и позиционировалась как юбилейная), то открывается следующая статистика. На профессиональной площадке встретились 446 участников из семи стран: России, Беларуси, Китая, Армении, ОАЭ, Сингапура, Сербии. Мы говорим о компаниях, представивших на выставке продукцию, концептуальные разработки технологий и услуги, а уникальных посетителей выставки, разумеется, во много раз больше, в том числе из многих других стран. Следовательно, количество российских участников-производителей возросло, количество китайских партнёров-поставщиков незначительно сократилось, количество гостей-партнёров из других стран уменьшилось. И эта тенденция сохранится в будущем, к чему необходимо подготовиться.

Кризис платежей и поставок

На фоне выставки получила развитие ситуация с кризисом поставок компонентов РЭА, производимых в Китае, и проведением платежей за них. В результате отгрузки товаров из Китая упали примерно втрое. Российские производители электроники в целом оптимистично оценивают перспективы импортозамещения, но зависимость от китайских компонентов по-прежнему очень высока. К примеру, материнские платы делаются исключительно из китайской компонентной базы, поэтому радиоэлектронная промышленность в России до сих пор ориентирована на замещение из КНР. Предложения китайских партнёров – производителей электроники и их служб дистрибуции, стабильно поступавшие в течение 2020–2023 годов, с января текущего года прекратились.

Проблемы платежей связаны в первую очередь с усилением комплаенс-процедур китайских банков. Как отмечает источник, очередное ужесточение отмечается со второй половины марта; если ранее риски вторичных санкций затрагивали в первую очередь платежи в долларах и евро, теперь они распространяются и на платежи в юанях [7]. С середины марта 2024 года наблюдается увеличение сроков оформления документов при пересечении границы между странами ЕС и ЕАЭС и, как следствие, времени простоя грузовых



Рис. 2. График изменения закрытых расходов бюджета РФ с 2007 года по настоящее время

транспортных средств. Снизился грузооборот, появился дефицит предложений в грузоперевозках, поэтому сроки доставки товаров не только из КНР, но и из Европы увеличились на 7–10 дней, где тарифы выросли на 40–50% по сравнению с февралем 2024 года [7].

Очевидно, что возможное присоединение КНР к санкционному давлению на Россию грозит существенными последствиями для экономики РФ и на фоне общей ситуации создаст комплекс проблем, требующих решения на основе взаимной выгоды сторон.

Особенности ситуации

После того как китайские банки ограничили приём средств в долларах и юанях, увеличили время для транзакций со стороны юридических лиц (некоторые аналитики называют эти действия блокировкой, что не вполне верно), поставки китайской электроники в Россию – компонентов для сборки электроники в больших партиях товаров, что важно для производственной сферы в России, – сократились. Поставки всего многообразия компонентов для РЭА (серверов и систем хранения данных, микропроцессоров, корпусов устройств, экранов и др.), а также готовых устройств в виде смартфонов и ноутбуков оказались под угрозой срыва. За первый квартал 2024 года отмечено сокращение на 20–30% грузоперевозок по направлению Россия – Китай, что также привело к ужесточению конкуренции среди перевозчиков. Примерно такая же проблема характерна для грузоперевозок не только на китай-

ском, но и на турецко-азербайджанском направлении. Также она касается и Казахстана. Ситуация несёт в себе некоторую угрозу производству РЭА в России, но более того, она доказывает, что российскому производителю РЭА нужны надёжные альтернативные схемы поставок, а ориентироваться только на монополиста, каким является КНР, недальновидно. Несмотря на то что заключены долгосрочные контракты с китайскими партнёрами, определяющими являются ограничения по приёму средств в удобной для китайской стороны валюте – долларах и юанях. Почему так произошло?

Китай – признанный монополист по производству электронных компонентов. Почти весь объём производимых компонентов для сборки электроники сосредоточен в КНР. Монополист в любой сфере рано или поздно использует ситуацию себе на благо, меняя условия на более выгодные для него. Однако в данной ситуации соединилось несколько проблемных вопросов. Это и санкционное давление, и расходы, которые правительство публично не детализирует. Закрытые расходы бюджета нашей страны в 2023 году составили 7,3 трлн руб. Этот максимум с 2016 года иллюстрирует график (рис. 2), представленный в [3].

Санкции против российской экономики имеют вполне логичные цели – ослабить её. КНР старается не поддаваться диктату мировых держав, объединившихся в антироссийскую коалицию, тем не менее страна входит во Всемирную торговую организацию

(ВТО) с 11 декабря 2001 года и связана договорными отношениями с партнёрами на государственном уровне. Так или иначе соглашения требуется соблюдать.

Несмотря на бывшие ранее существенные разногласия по поводу несоответствия между принципами ВТО и экономической моделью Китая, а также некоторое охлаждение в торговых отношениях с США, по оценкам экспертов, китайская экономика является второй в мире, что оказывает существенное влияние в том числе на ВТО и, в частности, партнёров производственной сферы Поднебесной в других странах, включая Россию. В КНР опасаются вторичных санкций со стороны США. По итогам 2023 года экономика США признана первой экономикой мира по росту ВВП, который в номинальном выражении вырос на 6,3%, а ВВП КНР – на 4,6%. Таким образом, американская экономика показывает более положительные результаты после выхода из кризиса, вызванного пандемией COVID-19, чем китайская, и с этим приходится считаться даже в КНР.

До недавнего времени КНР сопротивлялась давлению санкций на Россию, и мы анализировали перспективы российско-китайских торговых отношений в 2023 году: ознакомиться с этим можно в [4]. Не будем забывать, что консультации внешнеполитических ведомств проходят между мировыми державами в постоянном режиме, и никакого «внезапного китайского предательства» не случилось. Тем не менее давление возросло, а его следствия привели к ряду характерных ситуаций.

В июне 2023 года Минфин России был проинформирован со стороны Китая, что к концу года банки КНР прекратят расчёты с российскими контрагентами в долларах, а весной 2024 года – и в юанях. Валюту от российских контрагентов уже прекратили принимать Ping An Bank и Bank of Ningbo, DBS Bank, Great Wall West China Bank и другие банки Поднебесной. Отказ китайских банков принимать платежи из России в долларах и юанях был предсказуем, однако какие контрмеры предпринимались для недопущения экономических осложнений Центральным банком РФ, мы доподлинно не знаем. Вероятно, была надежда или на изменение ситуации, или на то, что крупнейший Bank of China продолжит

работать с российскими партнёрами. Однако уже в декабре 2023 года многие банки блокировали оплату крупных заказов из России, особенно в части компьютеров и серверов. Предприятия-заказчики из России не могут быстро провести оплату партий компонентов из Китая для собственного производства. Всё это осложняет всю цепочку взаимодействия в области электронной промышленности между Россией и КНР. Несмотря на то, что в России выпускают продукцию более 200 крупных и малых предприятий в области РЭА и производства компонентов, до сих пор фактического и масштабного импортозамещения не произошло, и промышленность российских производителей ориентируется на китайские компоненты. Нельзя сказать, что платежи не проходят, однако время их проведения увеличилось в разы; средства зачисляются на счета в течение нескольких месяцев. В результате проблемы начались и с фактической отгрузкой комплектующих в Россию. Более того, сложность ситуации в её инертности: даже после устранения сложностей с платежами ещё несколько месяцев будут ощущаться последствия.

Россия – Турция

Последствия экономической ситуации отражаются и в других сферах. С начала 2024 года и особенно с середины марта значительно сократился грузопоток между Россией и КНР, между Россией и Турцией. Долгосрочные договора заключены, спрос на электронные компоненты в России есть, но оплата зачисляется с ограничениями по времени, что приводит к задержкам поставок. То есть в международных перевозках произошло значительное падение объёмов, связанное с проблемами платежей в валюте из России в банки так называемых дружественных стран. За первый квартал импорт из Турции упал (по разным источникам) на 30–50%, поэтому проблему можно назвать масштабной и систематической.

Возможные решения

Удалось получить ответ специалиста компании Ai-Thinker, представившей на выставке модули и антенны Wi-Fi/BLE/LoRa/LoRaWAN/GPS/UWB/Radar с услугами PCBA. По мнению этого китайского партнёра, «никаких проблем не существует», и более

того, китайские производители не заинтересованы в их появлении. То, что сегодня связывают с трудностями банковских переводов, – явление проходящее, и над решением уже работают профессионалы. «Мы не находим трудностей в работе с вашими партнёрами», – ответил на мой вопрос сотрудник Ai-Thinker по имени Юн. Платежи также можно осуществлять через третьи страны, всё ещё лояльно относящиеся к России, в том числе через Казахстан и Индию. Да, таким образом банковская цепочка удлинится, но она работает.

Необходимо решить проблему в сфере финансовых услуг, обратить внимание на работающие схемы денежных переводов, в том числе через страны Индокитая, и только потом на логистику. Уместно усилить взаимодействие с партнёрами на Африканском континенте – это крупнейший рынок, показывающий высокий рост. Уже сейчас по приросту населения он сравним с Китаем и Индией: почти 1,5 млрд человек, а к 2100 году ожидается прирост до 3 млрд человек. Такие ресурсы уместно называть резервами и возможностями. И если смотреть на перспективу с позиции государственных интересов, то сделать африканцев партнёрами – задача стратегически очень важная. Однако в страны Африки необходимо инвестировать, в том числе в производственный процесс, а для этого нужны средства.

Что касается дистрибуции и логистики, то международные грузоперевозки упали на 30–50% из-за проблем с платежами. Необходимо осуществлять выбор локаций и доставок через третьи страны. В Киргизии с платежами ситуация не критичная, как и с заявками на перевозки. И тем более нет проблем по осуществлению поставок китайской продукции для РЭА в Россию через посредничество Беларуси.

Дополнительный выход из ситуации – активная выставочная работа российских компаний за рубежом в лояльных странах. Чтобы ситуации с поставками в Россию электронных компонентов, как в начале 2024 года, не повторялись, важно уделять большое внимание привлечению партнёров и развитию производства собственной элементной базы.

Всё ли нужно замещать?

Этот вопрос особенно остро возникает в сфере ИТ, а также там, где рас-

считаются высокие технологии, являющиеся важным конкурентным фактором развития промышленности. И тут же возникает сопутствующий: а нужно ли замещать именно «всё»? Параллельный импорт ИТ-оборудования показал свою результативность. Кроме того, само понятие импортозамещения подразумевало несколько этапов, которые с разным успехом выполнялись с 2009 года. В текущей ситуации есть особенные нюансы. Унификация РЭА и создание специализированной электронной компонентной базы (ЭКБ) – то, чем сейчас принято заниматься. Причём доля импорта электронных компонентов, используемых в бытовых устройствах РЭА, как была в 2014 году под 80%, так на том же уровне и осталась в 2024-м. А в создании РЭА специального назначения отечественные разработчики и производители заметно продвинулись, поскольку считали это направление прерогативным. Поэтому мы сегодня имеем и «свои» специальные средства, и защищённые ноутбуки (понятно, что не без сложностей – об этом ниже), а в быту используем всё те же китайские устройства с сомнительными гарантиями и надёжностью.

Интересно сравнить в динамике состояние отечественного рынка РЭА в 2014 году и в настоящее время. 10 лет назад производимая в России радиоэлектроника на три четверти состояла из импортных компонентов. Примерно 65% поступающих по импорту элементов и 35% собственных соответственно. Об этом можно прочитать, в частности, в [2]. И сегодня отечественная продукция остаётся конкурентоспособной. Но вопрос в том, что с чем сравнивать. Современная РЭА выпускается в России за счёт использования электронной компонентной базы (ЭКБ), которая на 80% состоит из импорта. Реализован ли сегодня принцип нацеленности на создание законченного продукта в рамках разработки и реализации технологических платформ по важнейшим направлениям радиоэлектронной продукции – вопрос дискуссионный. В профессиональном сообществе есть мнение, что почти никакого импортозамещения в стране нет: оборудование зарубежное, высокотехнологичные решения – тоже. Тут, конечно, можно поспорить. Другое дело, что при гегемонии Китая как монополиста в компонентах для РЭА полного замещения добиться невозможно, поэтому зависи-

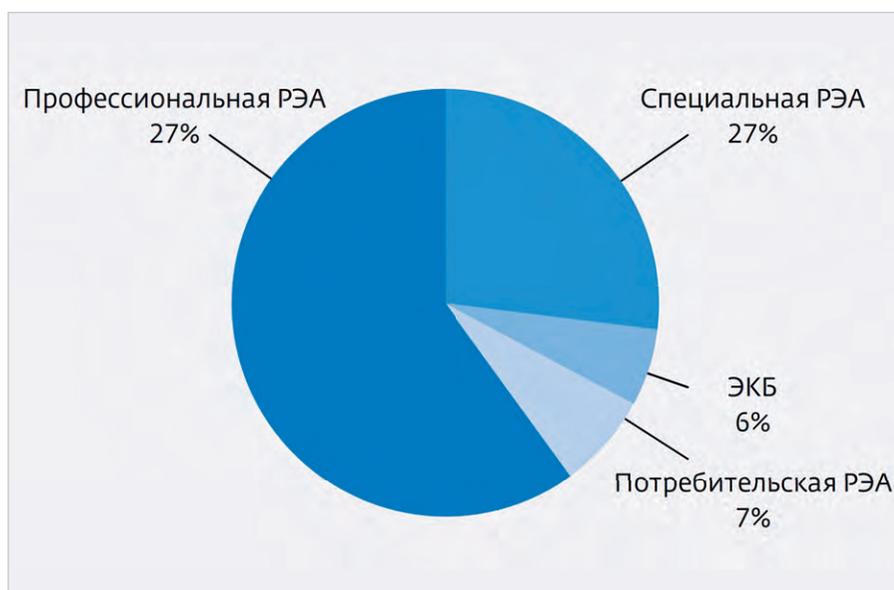


Рис. 3. Структура отечественного радиоэлектронного производства

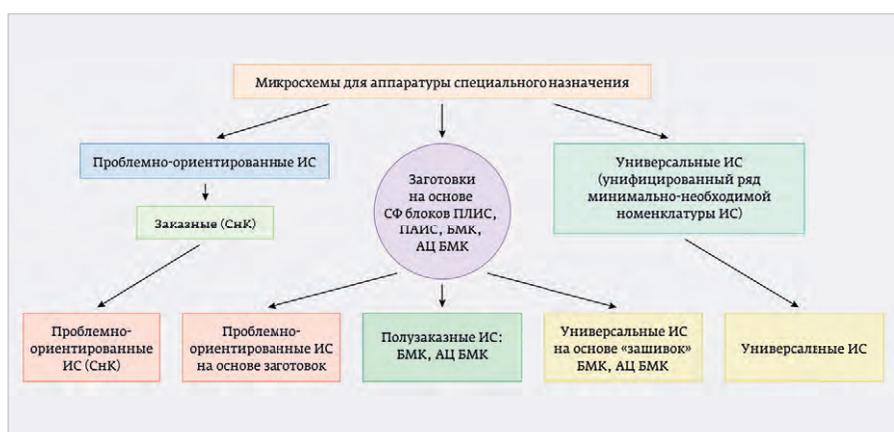


Рис. 4. Основные направления развития ЭКБ для РЭА специального назначения производства России

мость остаётся. На рис. 3 представлена иллюстрация структуры отечественного радиоэлектронного производства в 2014 году. В настоящих реалиях прерогативы сместились только в сторону повышенного внимания к РЭА специального назначения (для военпрома, критической инфраструктуры, силовых ведомств и специальных задач). Ибо всё сразу «заместить» никак невозможно: нет таких средств и мощностей.

На рис. 4 представлены основные направления развития ЭКБ для РЭА специального назначения производства России (источник: АО «НИИМЭ»). Сведения обоснованы материалом в [6]. Реализация данного подхода будет и далее способствовать развитию радиоэлектронного комплекса страны.

Что дальше?

В январе 2024 года приняты Основные направления реализации положений Договора о создании Союзно-

го государства на 2024–2026 годы. По итогам прошедшего года объём торговли товарами и услугами между Россией и Белоруссией составил примерно \$55 млрд. Среди многих представленных на выставке в открытом доступе инновационных товаров и достижений отечественного производства можно отметить успехи в разработке защищённых ноутбуков и в целом защищённого, устойчивого к разным агрессивным средам и факторам оборудования. Из новых товаров и систем для промышленности уместно вспомнить маркировочные огни холдинга «Росэлектроника» (входит в ГК «Ростех»). Специалисты НИИ газоразрядных приборов «Плазма» (входит в холдинг «Росэлектроника») разработали маркировочные огни для линий электропередач в районе траектории полётов самолётов. Огни устанавливаются на высоковольтные провода между опорами ЛЭП и в тёмное вре-



Рис. 5. Защищённый промышленный ноутбук TS STRONG MASTER 7020T

мя суток помогают пилотам держать безопасный курс при взлёте и посадке. Каждая лампа представляет собой рядный канал в защитной кварцевой оболочке, заполненный газом. Прибор светится красно-оранжевым цветом с большой интенсивностью, его видно с расстояния 3–5 километров в зависимости от погоды. Питаются лампы непосредственно от ЛЭП. В Финляндии такие «шары» на проводах ЛЭП были замечены ещё в 2003 году, однако теперь мы говорим о том, что лампы созданы в России и по техническим характеристикам не уступают маркировочным огням для ЛЭП «Balisor» французского производства. Интересные разработки предлагает российская компания GS Nanotech в составе холдинга GS Group. Фирма специализируется на разработке, корпусировании и тестировании микроэлектроники. Предприятие обладает передовой (для России) технологией серийной установки микросхем в пластиковые корпуса. Не отстают производственные компании «Ангстрем» (Россия) и белорусский «Интеграл», наладившие взаимодействие по производству чипов драйвера компании «ТРИОН», поддерживающего общепринятый протокол интеллектуального управления DALI [5].

На выставке ExpoElectronica 2024 ООО «ТС-СКН» продемонстрировало новое исполнение защищённого промышленного карманного компьютера МТ-55 «Кулон» с ЖК-экраном 5,7 дюйма. Компания имеет успешный опыт разработок РЭА для силовых структур с 1999 года. Изделие совместимо с ОС Android, имеет малые габаритные размеры и массу (0,5 кг с АКБ), оснащено мощным процессором ARM

Cortex-A53 2 ГГц, ОЗУ 3 Гбайт и встроенным накопителем данных на твердотельном носителе (eMMC) ёмкостью 128 Гбайт.

Безопасность пользователя обеспечена сверхнизким уровнем вредного электромагнитного излучения (на уровне естественного фона), защитой пользователя от поражения статическим электричеством, безопасные АКБ, низкий уровень шума. Имеется защита от кражи данных через ПЭМИН. Специальные защищённые соединители и интерфейсы: RS-232/422, VGA, DP, USB, LAN, гарнитура (Audio-out + Mic-in) и др. [10]. Устройство совместимо с ОС: Astra Linux, Microsoft Windows и другими, в том числе программно адаптировано к ретро-версиям ПО QNX, MCBC и Альт Линукс. Обеспечена защита от кражи данных с компьютера через ПЭМИН.

Примерно такие же параметры надёжности имеет защищённое многофункциональное накопительное устройство (МФНУ) с интерфейсом подключения к ПК: USB (специальный защищённый соединитель), отсек для установки штатного накопителя данных ноутбука (типоразмер НД-7020Т, тип накопителя – НДТН (SSD) или НДЖМД (HDD)), отсек для накопителей данных типоразмера 2,5 дюймов (SSD, HDD), встроенный оптический привод для работы с компакт-дисками (CD/DVD), соединитель (интерфейс USB) для подключения накопителей данных с интерфейсом и крепление (с виброизоляцией) для эксплуатации в транспортном средстве. Диапазон рабочих температур: –30...+60°C. Степень защиты от пыли и влаги не менее IP54. Также удивили защищённые промышленные ноутбуки TS Strong Master 7020T в конструктиве 7020C («Топаз») 13,3 дюйма и TS Strong Master 7020T GM45 (рис. 5).

Деятельность ООО «ТС-СКН» – один из примеров производства ультразащищённых промышленных ноутбуков, планшетных и карманных компьютеров, периферийных устройств для тяжёлых условий эксплуатации. Во многих современных защищённых ноутбуках тепло от процессора отводится при помощи активной системы охлаждения с применением вентиляторов. При эксплуатации в полевых условиях отсек активного охлаждения (включающий вентилятор и радиатор) забивается пылью, песком и грязью, что приводит к временной

потере работоспособности (требуется чистка отсека) или полной непригодности устройства к работе. Новая система охлаждения от ТС-СКН является их отличительной особенностью.

Strong Master 7020T GM45 – ещё один лэптоп российского производства, созданный для работы в суровых полевых условиях: защита от влаги и пыли по IP65, возможность работы под давлением (140–1140 мм рт. ст.), предусмотрена защита от механических воздействий силой 100g, вибраций до 10g, а также защита от соли, брызг и морской качки. Ноутбук приспособлен к работе при температуре от –50 до +60°C, в зоне относительно сильного магнитного излучения и при воздействии агрессивных сред: сероводорода, аммиака, диоксида серы/азота, озона и других. Он имеет толщину 33 мм, вес от 3,3 кг с АКБ и обеспечивает устойчивость работы при дожде со скоростью распространения влаги 5 мм/мин [8].

Успешный пример всегда является побудительным мотивом к партнёрским отношениям; тогда технологии развиваются, опыт совершенствуется и оказывается востребованным, а продукция становится конкурентной, что крайне важно для обеспечения импортонезависимости нашей страны.

Литература

1. Выставка ExpoElectronica 2024. URL: <https://expoelectronica.ru/ru/about/>.
2. Евсеев В., Наливкин Н. Импортозамещение ЭКБ и развитие электроники. URL: https://www.electronics.ru/files/article_pdf/4/article_4443_175.pdf.
3. Закрытые расходы бюджета РФ. URL: <https://www.dk.ru/news/237201988>.
4. Кашкаров А.П. Проблематика импортозамещения в производстве РЭА и ПО // Современная электроника. 2023. № 6. С. 56. URL: https://www.cta.ru/articles/soel/2023/2023-6/169590/?sphrase_id=512753.
5. Конца света не будет! Импортозамещение светотехники в России. URL: <https://hlebmmedia.ru/konca-sveta-ne-budet-importhozameshheni>.
6. Покатаева Е., Петровская Е. Импортозамещение и обеспечение качества. URL: https://www.electronics.ru/files/article_pdf/6/article_6696_86.pdf.
7. Производство электроники под угрозой остановки. Китайские банки блокируют платежи из РФ. URL: <https://www.dk.ru/news/237201596>.
8. Ультразащищённые промышленные ноутбуки. URL: <https://ts.ru/nbt/7020t/>. 



ТОВАРИЩ!
БИЗНЕС РОСТ ЗАМЕДЛИЛ?

РАНО ВПАДАТЬ В СТУПОР!

НУЖНО КРИЧАТЬ О СЕБЕ НЕМЕДЛЯ,

А МЫ

ОБЕСПЕЧИМ РУПОР!



Журналы

Два наших журнала уважают в отрасли. Ваши статьи и рекламу в них увидят все наши читатели



Видеоканалы

YouTube, RuTube, VK – предоставляют вам возможность интересно рассказать о себе



Медиапортал

Это ваши новости и статьи, оперативно доставленные по адресу



Конференции

На наших конференциях ПТА вы заведёте новые контакты и расскажете о себе специалистам



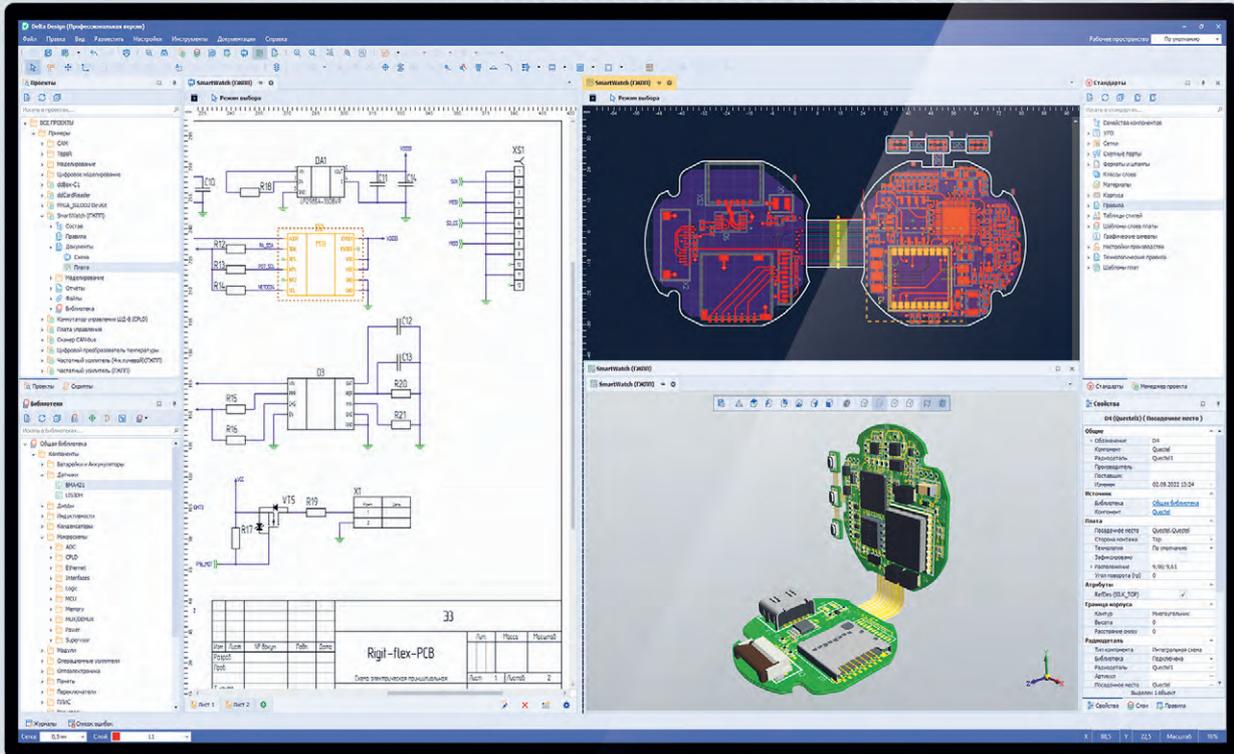
Дизайн-студия

Дизайнеры и верстальщики сделают для вас эффективную рекламу, баннер, ролик



DeltaDesign 3.7

Новая версия российской САПР электроники



Импорт проектов
из САПР Altium Designer



Расширены возможности
интеграции с PLM - системами



Обновлены редактор плат Right PCB, топологический трассировщик TopoR,
механизм импорта/экспорта DXF и экспорта Gerber - файлов

Чтобы получить консультацию по новой версии и внедрить САПР Delta Design на вашем предприятии, обратитесь к специалистам Эремекс