

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

2

2024

В номере:

КВАНТОВОЕ МНОГОТОЧИЕ:
тернистый путь
к электронике будущего

**ЗАГРАНИЦА НАМ
ПОМОЖЕТ:**
хайтек-сотрудничество
с Индией – благо
или угроза?

**РЕЦЕПТЫ ДЛЯ
МИКРОВОЛНОВКИ:**
инновационные
материалы,
и как их получают

YouTube



Telegram



НОВИНКА! Осциллограф с полосой пропускания до 13 ГГц



Серии DS80000

4 канала

Частота дискретизации
до 40 Гвыб/с

Скорость захвата
до 1 500 000 осц./с

Глубина памяти
до 2 млрд
отсчётов

✓ НОВИНКА ✓

 **акметрoн**

www.akmetron.ru
+7 (495) 252-00-96

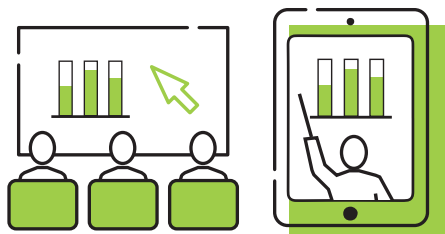
Официальный дистрибьютор RIGOL в России

Лицензированный
Сервисный центр

RIGOL

РЕКЛАМА

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



СЕМИНАРЫ
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



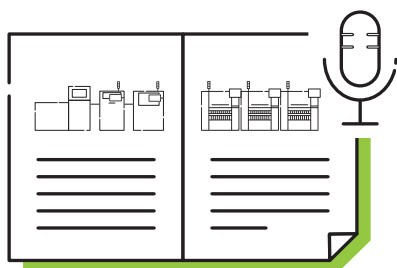
ПРОФИЛЬНЫЕ КАНАЛЫ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕООБЗОРЫ
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



ЭКСПЕРТНЫЕ
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ





EXPO ELECTRONICA

26-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

16–18 АПРЕЛЯ 2024
МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО



ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ,
МОДУЛИ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ



ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ
И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОНИКИ



ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ



NEW

РОБОТОТЕХНИКА



NEW

ИТ- И ЦИФРОВЫЕ
РЕШЕНИЯ



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER



ПОЛУЧИТЕ БЕСПЛАТНЫЙ БИЛЕТ
ПО QR КОДУ ИЛИ НА САЙТЕ
EXPOELECTRONICA.RU
ПО ПРОМОКОДУ
EEMAGAZINE24



Здравствуйте, уважаемые друзья!

В этом выпуске журнала мы расскажем вам об исследованиях, посвящённых квантовым точкам – структурам нового типа, основе полупроводниковых компонентов, обладающих уникальными свойствами.

Вы узнаете, как случай помог изобрести всем известную микроволновку, и каким образом микроволновые генераторы пытаются использовать в наши дни для создания инновационных материалов.

Мы расскажем об электролётах – будущем малой авиации благодаря стремительному совершенствованию автономных источников энергии, уверенно перебирающихся из лабораторий в повседневную жизнь.

Вам нужен простой, компактный, автономный и вместе с тем качественный НЧ-генератор синусоидальных сигналов? Нет проблем – именно такое устройство, доступное для повторения, подробно описано в одной из наших статей.

Как защитить от разрядов молний оборудование на линии передачи сигналов по интерфейсу RS-485? Есть довольно простое решение, с которым мы предлагаем вам ознакомиться.

Здесь вы сможете прочитать не только об этом, но и о многом другом. Не забывайте посещать и наш сайт. Кстати, как мы обещали, он обновился и стал удобнее и функциональней. Нам очень важно получать от вас критику по всем обнаруженным вами на сайте недоработкам. Пишите нам, а мы постараемся оперативно реагировать на ваши замечания.

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 А. Б. Хамидова (info@soel.ru)
Реклама И. Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»
Генеральный директор К. В. Седов
Адрес учредителя и издателя:
117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108,
пом./ком/эт I/67/тех
Почтовый адрес: 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

**ЧИТАЙТЕ
ЖУРНАЛ** 

в ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ
на сайте на www.cta.ru
и
в ПЕЧАТНОЙ ВЕРСИИ
по подписке

СОДЕРЖАНИЕ 2/2024

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

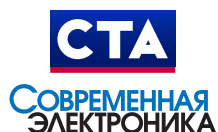
MicroLAB Systems	4
Raystar	27
VOLTBRICKS	6
АКМЕТРОН	1-я стр. обл., 4
ОСТЕК-СМТ	2-я стр. обл.
ЭкспоЭлектроника-2024	1
Электродеталь	5

**Приглашаем
на наш новый
медиапортал!**



WWW.CTA.RU

Современная
Электроника и
Технологии
Автоматизации



РЫНОК

4 Новости российского рынка

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

7 Перспективы развития ПСЭ и материалов для преобразователей солнечной энергии в электрический ток

Антти Эс

14 Инновационные методы коррекции свойств RR- и RC-материалов электронными устройствами – генераторами волн СВЧ-диапазона частот

Вадим Экземплярский

20 Будущее летательных аппаратов с электрическими силовыми установками

Вадим Экземплярский

28 Особенности функционала и условия применения РЭА специального назначения для экстремальных ситуаций

Антти Эс

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

36 Усовершенствованный НЧ-генератор синусоидальных сигналов на базе DDS AD9833, микроконтроллера EFM8SB10 и 0,91" дисплея OLED-1306 с батарейным питанием

Алексей Кузьминов

48 «Гроза-зонт» RS-485

Андрей Шабронов

50 Модуль управления для производственных помещений на базе программируемого реле

Сергей Шишкин

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

57 Открытие квантовых точек и разработка технологии их массового производства. Часть 1. Полупроводниковые наноматериалы с эффектом запрета перемещения зарядов по определённым направлениям

Виктор Алексеев

64 Прообраз Интернета: история средств распространения информации

Андрей Кашкаров

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

68 Особенности и возможности индийского рынка радиоэлектроники

Андрей Кашкаров

Новости российского рынка

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Компания АКМЕТРОН представляет новый высокопроизводительный осциллограф реального времени с полосой пропускания до 13 ГГц

DS81304 Rigol – цифровой осциллограф восьмого поколения, в основе которого лежит платформа поколения StationMAX II, обеспечивающая максимальную частоту дискретизации в реальном времени до 40 Гвыб/с и аналоговую полосу пропускания до 13 ГГц.

Характеристики цифрового осциллографа DS81304 Rigol:

- скорость захвата до 1 500 000 осц./с и глубина памяти до 2 млрд отсчётов;
- поворотный дисплей высокой чёткости с диагональю 15,6”;

- анализ джиттера и шумовых характеристик, анализ глазковой диаграммы;
- дополнительные программные опции, которые позволяют проводить тесты на соответствие стандартам DDR3 и LPDDR3, USB 2.0, 100M и 1000M Ethernet. Модель DS81304 Rigol объединяет 4 независимых прибора в одном:

- цифровой осциллограф с режимом высокого разрешения (до 16 бит);
- анализатор протоколов (опционально);
- 3-разрядный цифровой вольтметр;
- 8-разрядный высокоточный частотомер, 64-разрядный сумматор.

Оценить возможности осциллографа DS81304 Rigol в работе вы можете в Демо-лаборатории АКМЕТРОН (в Московском офисе). Контакты для записи на демо: +7 (495) 252-00-96, akm@akmetron.ru.



Компания АКМЕТРОН является официальным представителем Rigol Technologies в России, а также осуществляет гарантийное обслуживание оборудования Rigol в Лицензированном Сервисном центре по адресу: Москва, ул. Рабочая, 93, БЦ «Новорогожский».

Условия гарантийного обслуживания измерительной техники Rigol вы можете узнать на сайте компании АКМЕТРОН: <https://akmetron.ru>.

TORNADO-MTCA – системы ЦОС стандарта MicroTCA от российского производителя

Российская фирма «МикроЛАБ Системс» (г. Москва) отметила своё 30-летие началом поставок высокопроизводительных систем ЦОС TORNADO-MTCA «классического» промышленного стандарта PICMG MicroTCA (MTCA.0) на базе инфраструктурных системных компонентов полностью собственной разработки (шасси, ИП, модули коммутации и управления MCH), а также уже хорошо известных прикладных модулей ЦОС TORNADO-A стандарта PICMG AdvancedMC (AMC.0) собственной разработки. Это позволяет создавать высокопроизводительные, реконфигурируемые, распределённые и легко масштабируемые системы ЦОС с «горячей» установкой и заменой AMC-модулей для приложений телекоммуникации, связи, радиолокации, мониторинга, DPI COPM, обработки изображений и ИИ, измерений и др.

Уникальные «классические» компактные шасси MicroTCA TORNADO-MC/C6.1 и модуль MCH TORNADO-MCH/E40G.1 фирмы «МикроЛАБ Системс» по своим техническим и эксплуатационным характери-

кам значительно превосходят ближайшие аналоги от известных мировых производителей, а их аппаратные средства и ПО могут быть модифицированы в соответствии со спецификациями заказчика.

Шасси TORNADO-MC/C6.1 имеет высоту 1.5U для установки 6 полновысотных AMC-модулей, встроенный ИП 650 Вт с лимитом 120 Вт на AMC-модуль, каналы передачи данных 12,5 Гбит/с (одиночные линки) и 50 Гбит/с (линки «Fat-Pipes»), агрегативную пропускную способность 3 Тбит/с и коммутационную объединительную панель («Backplane») с базовой «классической» топологией «одинарная звезда» для портов 4-11 AMC-модулей и топологией «M2M Partial Mesh» для портов 12-20 AMC-модулей. Кроме того, имеются опциональные слоты для специализированных модулей JTAG-эмуляции и SSD-дисков, соответствующие перспективному «продвинутому» стандарту iMTCA фирмы «МикроЛАБ Системс», а также набор дополнительных опций, значительно повышающих эксплуатационные характеристики изделия и позволяющих расширить функциональность его применения.



Системный модуль MCH TORNADO-MCH/E40G.1 коммутации и управления имеет «базовые» линки AMC Fabric-A 1/10GbE и линки передачи потоков данных AMC Fabric-DEFG 10GbE/40GbE, а также позволяет запускать приложения пользователя для управления всей системой в реальном времени. Модуль управляется дистанционно через сети LAN/WAN.

Линейка AMC-модулей ЦОС TORNADO-A включает модули с ПЛИС, мультиядерными процессорами ЦОС и ARM, «дочерними» РЧ АЦП/ЦАП, сетевыми интерфейсами 10GbE/40GbE, регистраторами цифровых потоков и РЧ-сигналов и др.

Вся продукция фирмы «МикроЛАБ Системс» разрабатывается и производится на территории РФ.

www.mlabsys.ru
info@mlabsys.ru
 +7 (499) 900-62-08

ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Завод «Электродеталь» – это современные технологии в гальваническом производстве

АО «Карачевский завод «Электродеталь» специализируется на разработке и производстве комплексных решений для организации гальванического производства на предприятиях приборостроения и микроэлектронной промышленности. Важнейшей составляющей производства является использование специального оборудования для нанесения покрытий.

Используя новейшие технологии, завод изготавливает автооператорные, ручные и автоматические линии, линии с технологией покрытия деталей с катушки на катушку (Reel-to-reel) для покрытия отштампованных лент и проволоки. Всё оборудование предназначено для нанесения стандартных и специальных шифров покрытий.

Отличительными чертами оборудования являются высокая надёжность, долговечность и удобство в эксплуатации. Разработанная система автоматизации и настройки позволяет быстро интегрировать его в производственные процессы, обеспечивая максимальную эффективность использова-

ния электролитов и точность обработки деталей. Инновационные разработки, в том числе колокольные ванны с быстросъёмным колоколом и уникальные контактирующие устройства, подтверждены патентами и выделяют завод на рынке производителей гальванического оборудования.

Гальванические ванны изготавливаются в современных цехах с использованием высококачественных материалов: полипропилена PP, полиэтилена PE, поливинилхлорида PVC, поливинилиденфторида PVDF, титана и нержавеющей стали. Они оснащены сертифицированными конструктивными элементами и устойчивы к агрессивным средам, подходят для различных технологических процессов и нанесения различных видов покрытий, включая хромирование, цинкование, меднение, никелирование, серебрение, золочение, лужение, палладирование, анодирование. Также завод предлагает услуги по изготовлению линий согласно индивидуальным требованиям с учётом уникального состава электролитов.

Контроль качества нанесения покрытий осуществляется собственной аналитической лабораторией, что обеспечива-



ет высокую степень надёжности и точности производства.

В 2022 году производственные мощности по выпуску гальванических линий были значительно увеличены, что позволяет заводу предлагать оперативные современные решения вашего гальванического производства.

АО «Карачевский завод «Электродеталь» принимает заказы на 2025–2026 годы.

galvanika.elektrodetal.com

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 AMC 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
AMC модуль ПЦОС+ПЛИС+FMC



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



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



T/AX-DSFPX
AMC модуль SFP+ LAN/WAN



СДЕЛАНО В РОССИИ

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

WWW.MLABSYS.RU

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

Открыт приём заказов на серию VDMC

Компания «Вольтбрикс» открыла приём заказов на новую линейку высокоплотных DC/DC преобразователей для аппаратуры, требовательной к качеству электропитания, эксплуатируемой в жёстких условиях.

Система электропитания, построенная на базе линейки DC/DC преобразователей VDMC совместно с модулем удержания напряжения VHA и фильтром-ограничителем VFPC, способна обеспечить работоспособность нагрузок мощностью от 10 до 700 Вт в диапазоне напряжений питающей сети 9 – 40 (16 – 40) В с кратковременным падением до 0 В и всплесками до 250 В. При этом, в целом, решение является очень компактным, устойчивым к воздействию внешних факторов и соответствует российским и зарубежным требованиям к ЭМС.

Ассортимент представлен шестью преобразователями мощностью от 25 до 700 Вт, двумя модулями удержания напряжения VHA на 6 и 30 А, пассивным фильтром кондуктивных помех VFC на 6 А и тремя актив-



ными фильтрами-ограничителями VFPC от 6 до 16 А, обеспечивающими работу в диапазоне температур от –55...+105°C.

Преобразователи VDMC имеют защиту от перегрузки по току, КЗ и выходного перенапряжения, функцию дистанционного включения и выключения, регулировки от –20 до +10%. Типовой КПД может достигать от 88 до 93% (в зависимости от мощности) с высокой стабильностью в широком диапазоне нагрузок.

Модули разработаны в соответствии со стандартом DOSA с целью замены pin-to-

pin ряда популярных зарубежных преобразователей в форм-факторе BRICK, кроме того, при разработке учитывались требования стандартов MIL-STD-461, MIL-STD-810, MIL-STD-704 и MIL-STD-1275, что позволяет разработчикам производить замену зарубежных модулей электропитания практически без доработки своего проекта.

<https://voltbricks.ru/>
+7 (473) 211-22-80
info@voltbricks.ru

НОВОСТИ МИРА

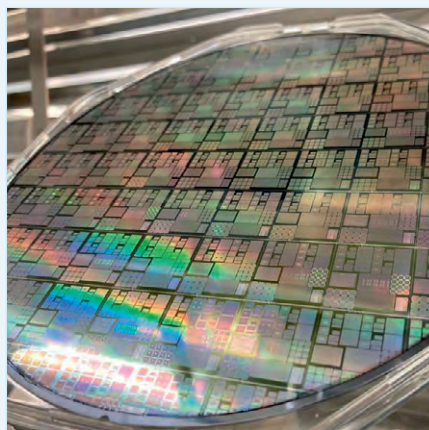
TSMC создала улучшенную магниторезистивную память – она потребляет в 100 раз меньше энергии

Компания TSMC вместе с учёными Тайваньского НИИ промышленных технологий (ITRI) представила совместно разработанную память SOT-MRAM. Новое запоминающее устройство предназначено для вычислений в памяти и для применения в качестве кэша верхних уровней. Новая память быстрее DRAM и сохраняет данные даже после отключения питания, и она призвана заменить память STT-MRAM, потребляя при работе в 100 раз меньше энергии.

На роль кэш-памяти верхних уровней (от L3 и выше) и для вычислений в памяти, среди прочих перспективных вариантов энергонезависимой памяти, долгое время претендовала магниторезистивная память с записью с помощью переноса спинового момента (STT-MRAM). Этот вариант памяти передавал намагниченность запоминающей ячейке через туннельный переход с помощью спин-поляризованного тока. За счёт этого потребление энергии STT-MRAM оказалоськратно меньше потребления обычной памяти MRAM, в которой запись осуществлялась наведённым электромагнитным полем.

Память SOT-MRAM идёт ещё дальше. Запись (намагниченность) ячейки – слоя

ферромагнетика – происходит с помощью спин-орбитального вращательного момента. Эффект проявляется в проводнике в основании ячейки в процессе комбинации двух явлений: спинового эффекта Холла и эффекта Рашбы – Эдельштейна. В результате на соседний с проводником ферромагнетик воздействует индуцированное магнитное поле со стороны спинового тока в проводнике. Это приводит к тому, что для работы SOT-MRAM требуется меньше энергии, хотя настоящие прорывы ещё впереди.



Другие преимущества памяти SOT-MRAM заключаются в отдельных схемах записи и чтения, что положительно сказывается на производительности, а также увеличенной устойчивости к износу.

«Эта элементарная ячейка обеспечивает одновременно низкое энергопотребление и высокоскоростную работу, достигая скорости до 10 нс, – сказал доктор Ши-Чи Чанг, генеральный директор исследовательских лабораторий электронных и оптоэлектронных систем ITRI. – Её общая вычислительная производительность может быть дополнительно повышена при реализации схемотехники вычислений в памяти. Заглядывая в будущее, можно сказать, что эта технология обладает потенциалом для применения в высокопроизводительных вычислениях (HPC), искусственном интеллекте (AI), автомобильных чипах и многом другом».

Память SOT-MRAM с задержками на уровне 10 нс оказывается ближе к SRAM (задержки до 2 нс), чем обычная память DRAM с задержками до 100 нс и выше. И, конечно, она существенно быстрее популярной сегодня 3D NAND TLC с задержками от 50 до 100 мкс. Но в процессорах и контроллерах память SOT-MRAM появится не завтра и не послезавтра, как не стала востребованной та же память STT-MRAM, которая разрабатывается свыше 20 лет. Всё это будущее, и не очень близкое, хотя, в целом, необходимое для эффективных вычислений в памяти и устройств с автономным питанием.

3dnews.ru

Перспективы развития ПСЭ и материалов для преобразователей солнечной энергии в электрический ток

Антти Эс

В статье приведён обзор технологий производства перовскитных солнечных элементов и создания на их основе эффективных преобразователей солнечной энергии в электрический ток.

Синтез материалов для производства преобразователей энергии света в электрический ток – галогенидного перовскита с уникальными свойствами и кремния – по результатам новейших исследований становится крайне любопытным направлением в отрасли. Кремний относительно недорог в добыче и доступен, при этом демонстрирует высокий КПД. Перовскитные солнечные элементы – явление новое и вместе с тем перспективное. Сейчас потенциально «прорывные» технологии совершенствуются сразу несколькими десятками научных коллективов во всём мире, что свидетельствует о появлении нового тренда в развитии современной электроники.

Перовскитные солнечные элементы (PSC), или ПСЭ, – гибридные органико-неорганические материалы на основе галогенида свинца или олова, использующиеся в качестве активного слоя для сбора света и находящиеся в стадии быстрого развития. Уникальные свойства галогенидного перовскита обнаружены около 10 лет назад. Важнейшее преимущество этой технологии – возможность использования методов печати на различных типах подложек вместо дорогих процессов вакуумно-

го и высокотемпературного производства кремния. Чтобы понять различие технологий, нужно сравнить полупроводниковый «кремниевый» и перовскитный методы производства. Причём оба этих подхода, как ни странно, при подходящих условиях можно объединить. Притом что КПД преобразования световой энергии в электрическую составляет немногим более 20% (максимальное значение около 26%) для классических солнечных элементов на основе кристаллического кремния, основными причинами низкой эффективности фотоэлектрического преобразования являются потеря фотонов с энергией меньше ширины запрещённой зоны кремния (1,1 эВ) и термализация фотогенерированных носителей заряда. Поэтому из-за пропускания и тепловых потерь используется только часть светового спектра. На рис. 1 представлена иллюстрация «запрещённой зоны» из зонной теории твёрдых тел.

Для создания ПСЭ достаточно даже тонкого слоя. Теоретически перовскит можно изготовить даже из поваренной соли с помощью низкотемпературных процессов, таких как центрифугирование, превратить в чернила и напеча-

тать на гибких подложках для формирования гибких солнечных элементов.

Конструктивные особенности и принцип работы типичного кремниевых элемента солнечной батареи представлены на рис. 2. На рис. 3 представлен вид готового перовскита.

Сравнение технологий фотоэлектрических элементов по КПД: кремний – 15–20%, перовскит – 20–27%. Интересный факт: 35 кг перовскита могут производить такое же количество энергии, как 7 т кремния. Причём сверхчистые газы, вакуумные камеры или высокие температуры, как для кремниевых фотоэлементов, для производства перовскитных не нужны.

Что происходит

Исследовательская группа китайской компании Microquanta Semiconductor (КНР) в 2019 году установила рекорд преобразования энергии в 14,24% для полностью перовскитного солнечного модуля площадью 200×800 см² и впоследствии мировой рекорд эффективности преобразования в 20,2% на фотоэлектрическом элементе «третьего поколения» площадью 20 см², притом что самый высокий КПД из перовскита компании Microquanta Semiconductor площадью 19,3 см² составил 24,1%. В июне 2022 года два tandemных кремнево-перовскитных элемента, созданных учёными в корейско-швейцарской исследовательской группе EPFL и CSEM, достиг-

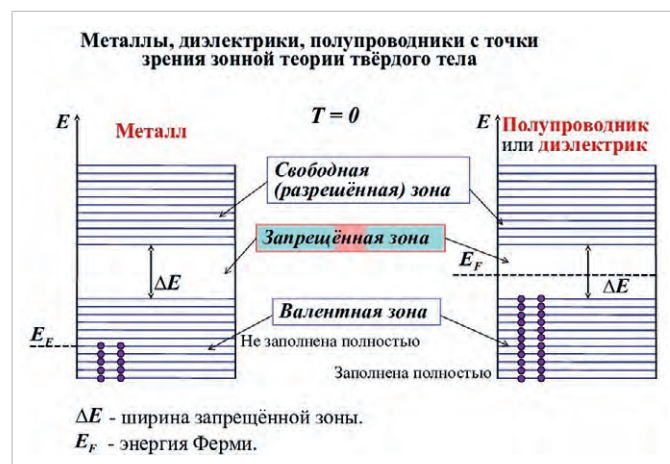


Рис. 1. Иллюстрация «запрещённой зоны» в полупроводниках

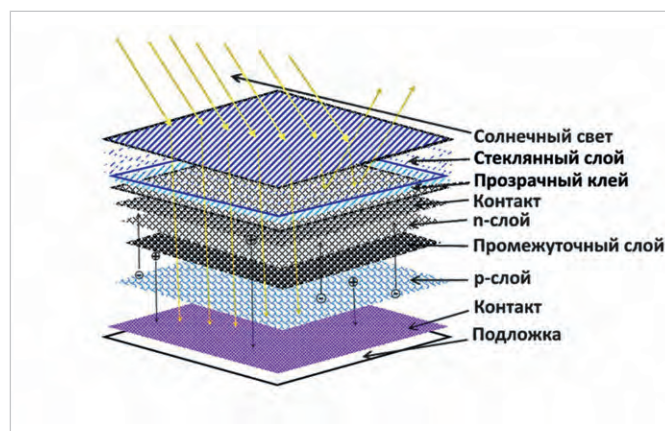


Рис. 2. Конструктивные особенности и принцип работы фотоэлектрического элемента на основе кремния



Рис. 3. Вид перовскита – материала

ли КПД в 30%. Они показали стабильность работы в течение 450 ч. Перспективным материалом заинтересовались химики, материаловеды, специалисты по оптоэлектронике отечественного НИТУ МИСиС (Лаборатория перспективной солнечной энергетики МИСиС) и Лаборатории новых материалов для солнечной энергетики Факультета наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова. Кстати, Лаборатория перспективной солнечной энергетики МИСиС – претендент на премию «Сделано в России – 2022» в номинации «Наука и технологии».

Главные отличия перовскитных элементов

Основой устройства является поверхность соприкосновения двух типов кремния. Верхняя часть элемента прозрачна, и световой поток почти без препятствий падает на чувствительный слой кремния. В момент попадания света на поверхность ФЭ между двумя типами кремния возникает разница потенциалов. При подключении к ФЭ электрической нагрузки сила тока возрастает пропорционально яркости принятого рабочей поверхностью светового потока. Для усиления мощности последовательно соединённые параллельным способом ФЭ образуют модули и батареи. Таким образом, под воздействием освещения они являются источником автономного питания.

Гибкие и тонкие панели ПСЭ можно распечатать на промышленных принтерах, в том числе на стекле и пластике. Благодаря конструктивным свойствам их легко размещать на фасадах зданий или даже окнах. При этом производство обходится вдвое дешевле, чем производство батарей из кремния: ожидается, что цена одного квадратного метра солнечной панели из перовскита составит примерно \$20. ПСЭ лучше аналогов воспринимает световой спектр, следовательно, при низкой интенсивности освещения,

а также в условиях осадков, при облачной погоде на основе ПСЭ уместно создавать «всепогодные» солнечные батареи. Благодаря прочности и тонкости перовскит можно интегрировать в гаджеты, устройства телекоммуникации, экосистемы датчиков. ПСЭ полезен и как источник питания для автономных устройств: устройств-коммуникаторов, трекинговых девайсов, портативных радиостанций – всего того, что делает жизнь комфортнее. Везде, где нужен маленький элемент питания, надёжно работающий в любых условиях.

История открытия и причины интереса к перовскитам

Перовскиты – класс материалов с кристаллической структурой, подобной минералу под названием «перовскит» (CaTiO_3). Их химическая формула ABX_3 , где А и В – катионы, а Х – анион. Большое количество возможных комбинаций химического состава позволяет рассматривать материал как подходящий для нового поколения солнечных элементов. Замена органического красителя на перовскит привела к возникновению практически совершенного типа солнечных элементов. Принцип работы перовскитной ячейки практически не отличается от ячейки Гретцеля. Причём перовскитные ячейки имеют слоистую структуру, где каждый слой выполняет определённую функцию.

Новые преобразователи солнечной энергии на основе арсенида галлия в несколько раз тоньше традиционных. Ранее разработчики использовали полупроводниковый арсенид галлия для создания двух типов фотоэлектрических устройств. Одним из них была кристаллическая структура, созданная путём наложения различных материалов друг на друга. Ключом к устойчивости к радиоактивному излучению являлись клетки, которые включали в себя тонкий слой светопоглощающего газа.

Мощный всплеск интереса к перовскитным солнечным элементам (далее – ПСЭ) был зафиксирован при открытии эффекта преобразования солнечного света в электрическую энергию с КПД, близким к известным солнечным батареям на основе кремния. Нельзя сказать, что ПСЭ уже вполне конкурируют с типичными кремниевыми солнечными элементами. Современные кремниевые солнечные батареи теряют примерно 0,5% условной мощности за первый год работы, а для пер-

спективного химического соединения двойных перовоскитных субстанций – йодида свинца–метиламмония – в 2022 году зафиксированы потери только 10% мощности за несколько месяцев активной эксплуатации при прочих равных условиях. Однако направление ПСЭ стремительно развивается, что хорошо видно в динамике. Эффективность ПСЭ, доказанная в лабораторных условиях, за 10 лет возросла: с 12,8% в 2013 г. до 25,2% в 2020 г. и до 26% в 2022 году в однопереходных архитектурах (однослойных ФЭ), а в tandemных элементах на основе кремния – до 29,8%, превывсив максимальную эффективность типичных солнечных элементов на основе одного лишь кремния (примерно 25%). Соперничество с ПСЭ продолжается, поскольку совершенствуются технологии и на основе кремниевых кристаллов, однако потенциал ПСЭ признаётся значительно более высоким, чем у «кремния». Кроме того, технологически ПСЭ можно получить осаждением частиц из химического раствора, тогда как кремниевые ФЭ, требующие сверхчистых материала и условий производства, вакуумных камер, зависимы от сложного процесса осаждения кристалла на подложку.

Промышленное производство перовскитных кристаллов до недавнего времени проводилось в лабораторных условиях. Однако в лаборатории Мохаммада Х. Назируддина из Федеральной политехнической школы Лозанны (EPFL, Швейцария) в сотрудничестве с профессором Майклом Гретцелем, ведущим разработчиком «ячейки Гретцеля», действующей на принципах фотосинтеза, и компанией Solaronix внедрением новой химической формулы удалось улучшить технологию. В результате был изготовлен гибридный трёхмерный перовскитный солнечный элемент, сочетающий повышенную стабильность двухмерных перовскитов с трёхмерной формой. Сверхстабильный перовскитный солнечный элемент более года сохранял высокую производительность. На практике это свидетельствует о том, что кристаллы преобразовывают видимый солнечный спектр с высоким КПД [4]. Напомним, что М. Гретцель также автор выдающегося научного труда, приблизившего нас к изобретению литий-ионного аккумулятора.

В современных реалиях в сегменте солнечной энергетики цена фотоэлемента менее важна, чем его надёжность и производительность. К слову, в последние 10 лет цена ФЭ-модулей

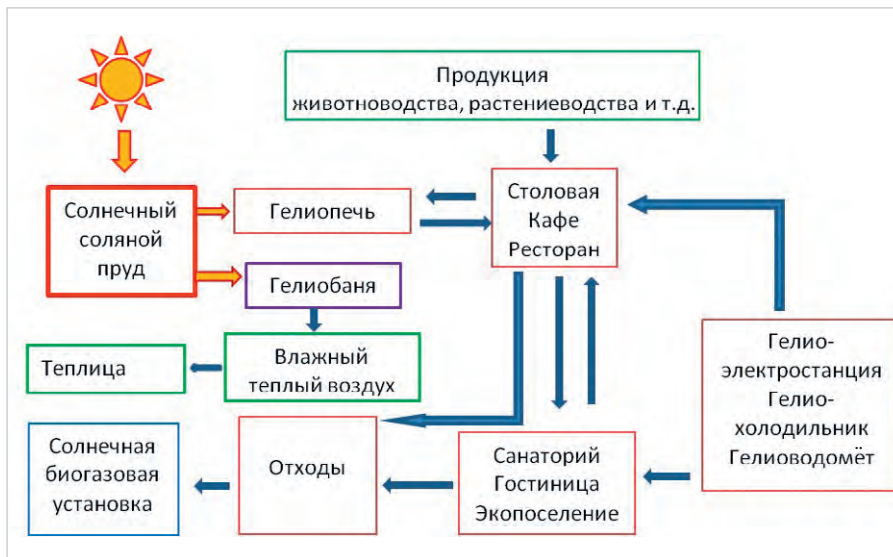


Рис. 4. Блок-схема энергообеспечения дачного дома будущего с участием ГЭС и других сопутствующих модулей безопасного энергообеспечения

упала в несколько раз. Это было ожидаемо. Рассудим здраво: условно в стоимости 1 кВт мощности гелиоэлектростанции (далее – ГЭС) на основе солнечной энергии более 50% – заложенные второстепенные затраты на поддерживающие конструкции, опоры, логистику, труд монтажников и др., при этом стоимость солнечных модулей условно невелика и зависит от мощности, производителя, иных факторов. Если добавить к кремниевым ФЭ ещё менее затратные по себестоимости ПСЭ (с учётом сопоставимой стоимости монтажа и обслуживания), владелец ГЭС не повысит расходы. А рост КПД модернизированной ГЭС условно с 25 до 28% приведёт к росту выручки или экономии расходов на 10–12%: сэкономленные деньги – это заработанные деньги.

На рис. 4 представлено схематичное изображение энергообеспечения дачного дома будущего с участием ГЭС и других сопутствующих модулей безопасного энергообеспечения. По сути, это схема интегрированного комплекса для проживания и отдыха на базе энергообеспечения от естественных природных источников, включая гелиостанцию.

Особенности технологии

Простой и надёжный подход к герметизации для стабилизации стандартных перовскитных солнечных элементов в условиях окружающей среды и при однократном солнечном освещении в течение более 1000 часов с помощью испаряющихся неорганических покрывающих слоёв и герметизации эпоксидной смолой/стеклом предложен отечественными учёными в [9].

В отношении одностадийного метода материалы-предшественники перовскита растворяются в диметилформамиде или бутиролактоне. Затем раствор наносят на подложки путём очень быстрого вращения последних, что позволяет распределить жидкость на субстрат благодаря центробежной силе. Во время процесса плёнка может быть разбавлена из-за испарения растворителей с их высокими «летучими» свойствами. Чтобы гарантировать качественное образование плёнки, требуется присутствие массы в растворе не менее 40%. Как только плёнка осаждена, она помещается в нагреватель (фаза отжига), и этим завершается образование перовскита. Двухстадийный процесс нанесения покрытий, вместо рассмотренного выше, предполагает осаждение в разное время двух растворов (например, диметилформамида и изопропилового спирта). Процесс заканчивается использованием нагревания; в отличие от предыдущего способа, цель – исключить любые следы остаточного растворителя. Предлагаемая стратегия может быть перенесена на любые прототипы перовскитных фоточувствительных элементов независимо от их геометрии, архитектуры и приводит к повышению стабильности устройств под воздействием окружающего воздуха разного состава в длительных условиях эксплуатации. Это подтвердилось при 1000-часовом испытании на стабильность при окружающем воздухе с относительной влажностью 30–60% [9]. Метод также можно применять с использованием вапоризации или двойной вапоризации, кон-

тролировать процесс спин-покрытия, избегать неравномерности толщины перовскита.

Другой метод – двухфазное осаждение из паровой фазы: самый затратный метод, но и самый перспективный за счёт равномерности покрытия плёнки на подложке. Присадочное осаждение из паровой фазы – третье направление совершенствования технологии. Галогенид осаждается спиновым покрытием, а затем испаряется на свинцовой подложке при 150°C в течение 2 ч в атмосфере азота и так превращается в перовскит. Так же, как для парового осаждения с двойным источником (для всех процессов осаждения в паровой фазе), объёмное покрытие плёнки больше, чем в плёнках, обработанных с помощью растворов [8]. Есть у полученного перовскитного материала преимущество, недоступное обычным кремниевым панелям: изменяя состав слоёв материала, можно корректировать ширину его рабочей зоны. За счёт этого незначительно отличающиеся перовскитовые слои становятся чувствительны к разной длине световых волн. Так, перовскитовая плёнка толщиной всего в 500 нм содержит достаточно слоёв, чтобы преобразовать световую энергию в электрический ток от нескольких участков светового диапазона. На такой основе апробированы двух-, трёх- и более многослойные материалы с КПД выше, чем у кремния. Кремниевые фотоэлементы такого результата не покажут, ибо многослойность возможна (поверх монокристаллического кремния можно наложить слой аморфного), но КПД не увеличится пропорционально. Изменять толщину активного слоя модуля ФЭ из чистого кремния до 500 нм технически бессмысленно, ибо разного спектра световые волны поглощаются внешними слоями и не достигнут нижних. Тем не менее в 2018 году группа исследователей Oxford Photovoltaics применила монокристаллический кремний в качестве основы для солнечной батареи, а затем покрыла его перовскитом. Хотя КПД монокристаллического кремниевого фотоэлемента не превышает 23–24%, в комбинации с перовскитом он достиг 28% – почти рекордной на сей день величины.

На рис. 5 представлен ПСЭ в разрезе. Картинка напоминает слоёный пирог, каждый элемент которого важен.

На рис. 6 представлена иллюстрация технологии герметизации материала стандартных ПСЭ, чтобы они мог-

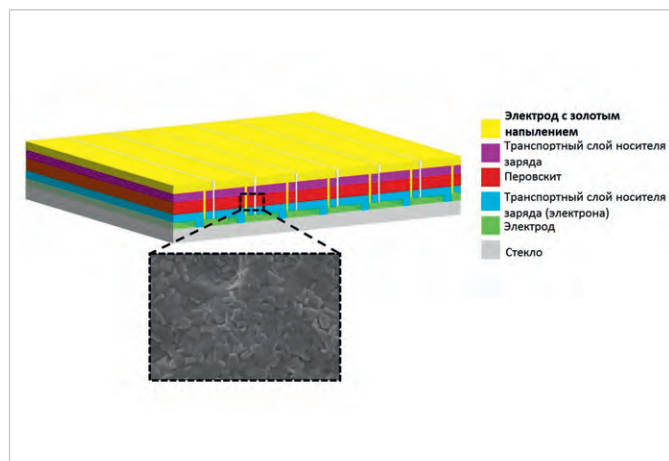


Рис. 5. Вид ПСЭ в разрезе

ли работать в условиях окружающей среды более 1000 часов. Иллюстрация представлена в описании разработки отечественных специалистов в [9].

А что, если объединить?

В перспективе открылось несколько важных факторов развития технологии совершенствования ФЭ: механо-химическим подходом удалось создать двойные ПСЭ, имеется экономическая целесообразность – рентабельность с учётом стоимости конструкций преобразования солнечного света в электроэнергию, повышается безопасность материалов, ориентация смещается на минимальный форм-фактор и, что немаловажно, гибкость элемента; наконец, результативность синтеза ПСЭ с типичным кремниевым ФЭП, то есть напыление двойного перовскита на кремниевые элементы. Речь идёт о перспективном гибридном солнечном элементе на основе скрещивания типичных кремниевых и двойных ПСЭ. Это даёт большие перспективы развития отрасли в целом, связанные с минимизацией размеров, стабильностью работы и практической эффективностью преобразователей солнечной энергии в электрическую. Не забудем и экологическую проблему с утилизацией: фотоэлементы на основе кремния и свинца требуют особого подхода.

В приоритете стабильность параметров

Приоритетная задача исследователей – найти и использовать максимально стабильное к внешним факторам химическое соединение с малой токсичностью. Существенно увеличивают стабильность фотоэлементов нового типа двойные перовскиты. С опорой на механо-химический подход рассматривают

несколько химических соединений в поисках сочетания, приближённого к идеальному. Уже несколько лет, с 2018 года, исследователи экспериментируют с синтезом двойных перовскитов, изучая в роли катиона цезий, серебро, метиламмоний и др. У каждого свои «плюсы» и «минусы». В сравнении с метиламмонием, себестоимость которого невысока, цезий дороже, но весьма устойчив в условиях повышенной влажности и при колебании температур. Изотопы цезия печально известны в связи с катастрофой в Чернобыле, однако в крайне малых дозах цезий присутствует даже в организме здорового человека, а риск утечек в окружающую среду вполне возможно полностью исключить.

Практика на рынке

В сфере солнечных модулей и панелей наметилась жёсткая конкуренция между традиционными поликристаллическими и монокристаллическими модулями и батареями в исполнении на жёсткой раме, с одной стороны, и с гибкими панелями на базе аморфного кремния, полиморфными и полимерными ПСЭ, с другой. У каждой из групп есть достоинства и недостатки.

Жёсткие моно- и поликристаллические кремниевые батареи, с 30% и 53% завоёванного рынка соответственно, пока лидируют. Для такого положения дел есть веские основания.

Технологии создания моно- и поликристаллических панелей хорошо отработаны, ими насыщен рынок, потребности во многих сферах удовлетворены. Модули с КПД серийных образцов на уровне 24% и поликристаллических, достигающих 18%-ной эффективности, лидируют в сегменте изделий массового производства. Производители гарантируют высокую надёжность, устойчивость к атмосферным воз-

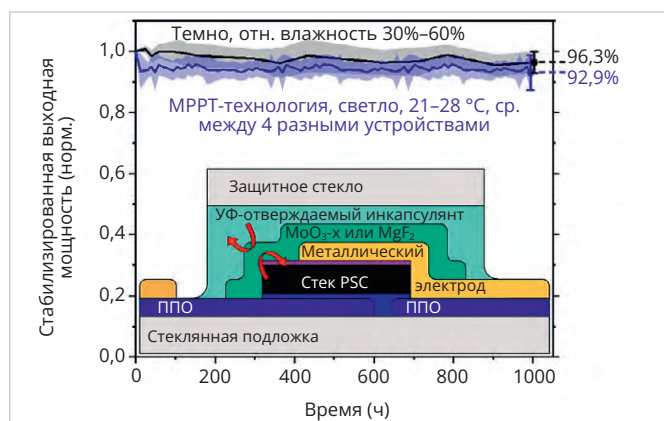


Рис. 6. Технологии герметизации материала стандартных ПСЭ для долговременной и стабильной работы

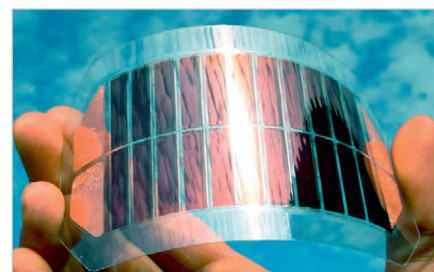


Рис. 7. Модуль ПСЭ в форме эластичной плёнки

действиям и длительный срок службы. Спрос на моно-/поликристаллические солнечные батареи продолжает расти.

На рис. 7 представлен модуль ПСЭ в форме эластичной плёнки.

Что касается моделей на ПСЭ, надо учитывать их перспективу. Световое излучение состоит из волн разной длины. Перовскитные ФЭ реагируют на широкий спектр, в том числе потому и перспективны. В перспективе также изменение размеров и толщины элементов. Как мы показали выше, теперь уже с помощью гибких и прозрачных ПСЭ-модулей можно создавать конструкции различного назначения и форм-фактора, включая и такой бытовой и эстетический аспект применения, как меняющие форму жалюзи на окнах.

Достоинства перовскитных ячеек:

- гибкость и небольшой вес;
- относительно высокая производительность при слабом освещении;
- возможность создания индивидуальных параметров формы и цвета;
- экологически чистая обработка;
- условно простое масштабирование.

Минусы перовскитных ячеек связаны с их специфическими свойствами: условно высокая стоимость сырья и конечной продукции и ускоренная деградация при воздействии относительно высоких температур.

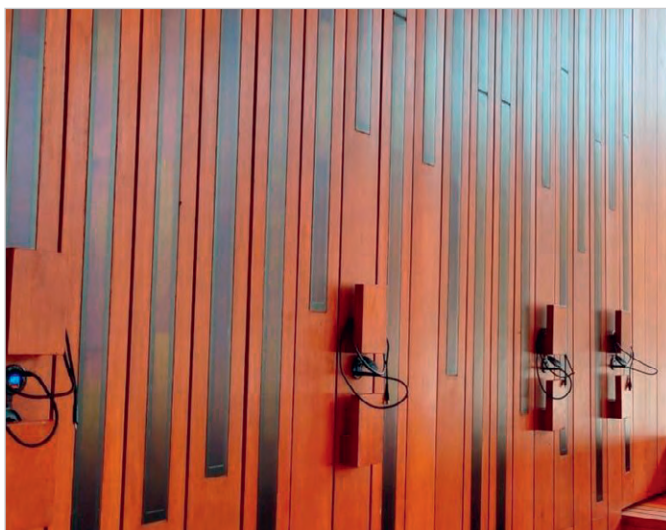


Рис. 8. Внешний вид системы зарядки телефонов на выставке в Дубае



Рис. 9. Вид здания, оснащённого солнцезащитными жалюзи из ПСЭ

Последний фактор имеет значение, поскольку прогрев панелей приходится на часы максимума солнечной активности. Впрочем, свои особенности есть и у каждой из разновидностей гибких панелей. Установленные в помещениях, они не подвергаются прямому солнечному воздействию. В 2020 году польская компания Saule Technologies выпустила на рынок солнечные батареи из перовскита. Тогда же был запатентован метод печати перовскитом на гибкой фольге.

На рис. 8 представлена система зарядки электронных устройств на выставке в Дубае. Эта система с выставки Expo 2020 Dubai с номинальной мощностью 200 Вт обеспечивала зарядку смартфонов с использованием 8 USB-портов. Посетители могли заряжать телефоны с помощью солнечной энергии от фотоэлектрической системы, встроенной в фасад. По технологии струйной печати тонкие и гибкие ячейки из ПСЭ были встроены во внешнюю стену павильона. ПСЭ эффективны как при естественном, так и при искусственном освещении, что делает ЗУ полезным в вечерние и ночные часы также и на улице, к примеру, с монтажом на опоре уличного освещения.

Гибкие перовскитные фотогальванические устройства предназначены для питания электронных устройств в условиях низкой освещённости, в том числе внутри помещений, что делает их востребованными в различных приложениях Интернета вещей (IoT).

Исследователи из Oxford PV, дочерней компании Оксфордского университета, среди которых профессор Генри Снейт,

получивший премию Беккереля за значительный вклад в исследования в области науки, техники и солнечной энергетики за работу, описывающую ПСЭ, добились рекордных результатов в технологии нанесения на кремниевую основу слоя перовскита. Они полагают, что в недалёком будущем кремниевый слой, как анахронизм эпохи научно-технического прогресса, не потребуется вообще. Предполагается, что к 2050 году ПСЭ и модули на их основе будут генерировать до 50% электроэнергии в мире.

Тем временем мировая премьера солнцезащитной установки с перовскитными солнечными модулями состоялась в Люблине (Польша) 24 августа 2022 года. Компания Saule Technologies представила установку с фотогальваническими жалюзи, замаскированными под солнцезащитные экраны с ПСЭ [5]. На рис. 9 представлено здание, оснащённое солнцезащитными жалюзи из ПСЭ. Коммерческая реализация технологии перовскитных солнечных элементов стала результатом сотрудничества Saule Technologies с заказчиком – компанией Aliplast.

Жалюзи – солнцезащитные шторки, представленные выше, защищают здание от перегрева и охлаждения, значительно снижая затраты на кондиционирование и отопление, и производят экологически чистую энергию от естественного солнечного освещения. Это полностью автоматизированная система, функционирующая (кроме регламентных работ) без участия человека. Созданные профили с перовскитными модулями взаимодействуют с метеостанцией, установленной на крыше здания. Используя

данные о погоде в реальном времени, прогноз солнечной активности и отслеживание реального положения солнца, электронные модули с помощью системы приводов автоматически корректируют свое положение в зависимости от полученных данных. Практическое решение обеспечивает энергетическую эффективность объекта, «тепловой комфорт» и защиту от яркого света для посетителей независимо от времени года.

Перовскитные солнечные элементы – относительно дешёвый и эффективный источник автономной энергии с потенциалом для коммерциализации. Пока рабочая стабильность не вполне соответствует рыночным запросам потребительского уровня, даже несмотря на относительно высокий КПД, достигнутый совершенствованием технологий в последние годы. Варианты решения проблемы есть, но главное – внедрение перовскитной технологии в массовое производство.

Что завтра?

Таким образом, к 2023 году специалисты создали сверхстабильные солнечные элементы размером 10×10 см с толщиной менее 1 мм. Одной из проблем было масштабирование: как перейти от маленького пикселя в несколько квадратных мм к модулям площадью в сотни см². Некоторые источники утверждают, что есть ПСЭ с толщиной менее человеческого волоса. Ячейки с ПСЭ уже работают больше 4000 ч с постоянной эффективностью в 11,2% и нулевыми потерями в производительности в стандартных условиях [3].

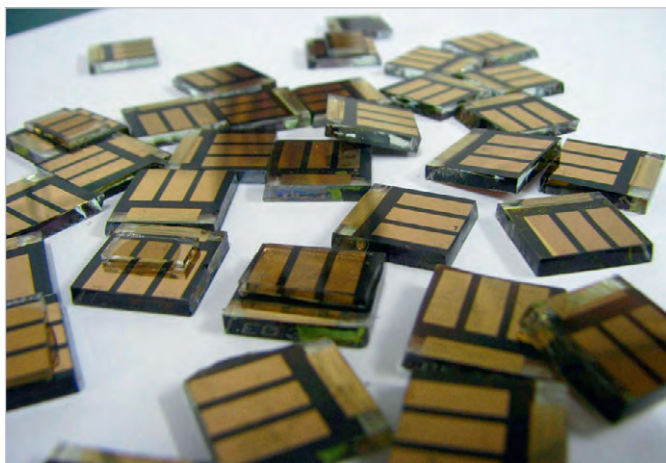


Рис. 10. Внешний вид перовскитных фотогальванических ячеек

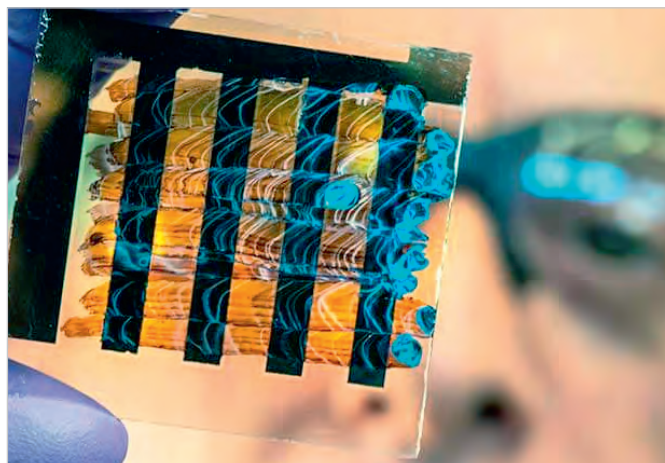


Рис. 11. Фотоэлемент с чувствительной поверхностью в виде тончайшего слоя краски

В феврале 2022 года китайский производитель перовскитных элементов Microquanta Semiconductor объявил о начале строительства наземной солнечной электростанции мощностью 12 МВт в г. Цюйчжоу, провинция Чжэцзян. Скоро мы узнаем об открытии в КНР первого мощного автономного, ориентирующегося на природные источники энергоносителя для социальных и других потребительских нужд: в нём использованы модули из ПСЭ. Перовскитные гальванические ячейки уже производят: это миниатюрные модули, внешний вид которых представлен на рис. 10.

В то же время сотрудники Массачусетского технологического института (MIT) работают над созданием перовскитной матрицы, сообщающей значительные объёмы электрического заряда в разные участки ПСЭ; так надеются решить проблему повышения энергоэффективности и устойчивости к внешним воздействиям новых солнечных панелей.

Если ранее ПСЭ изготавливали в основном на лабораторных образцах малой площади ($< 2 \text{ см}^2$) с помощью центрифугирования методом спин-коатинга (Spin Coating), не имеющим перспектив при масштабировании промышленных процессов, сегодня ситуация изменилась, и масштабирование больших объёмов и площадей вполне освоено. В качестве промышленно-масштабируемых методов печати, обеспечивающих равномерность толщины и морфологии тонких плёнок, применяются трафаретный, спреевый, струйный, скальпельный, слот-матричный методы. То же применяют для получения селективно-транспортных и электродных слоев ПСЭ, поэтому возможно выстроить замкнутый цикл печати – изготовления устройств без ограниче-

ния геометрических габаритов. Слот-матричная модель имеет преимущества в высокой скорости нанесения, минимум потерь материала при формировании «влажного» слоя и возможность печати на гибких подложках. Это позволяет точно регулировать толщину слоёв от десятков нанометров до нескольких микрон с точностью до нескольких нм [2]. На рис. 11 представлено изображение ПСЭ в виде тончайшего слоя фоточувствительной краски.

На портале канадских учёных эту перспективную разработку называют «солнечная краска» и «перовскитный аккумулятор», оба понятия по смыслу релевантные. Специфическая пространственная структура кристаллов перовскита добавляет необычные свойства. Например, структура оксида иттрия-бария-меди – высокотемпературного сверхпроводника – позволяет сохранять свойства при $-196,1^\circ\text{C}$, то есть при температуре жидкого азота. Полученные вещества с такой структурой перспективны для сверхпроводников будущего. Другая важная область применения подобных материалов – создание из перовскитов рабочих сред лазеров.

Проблемное поле

Наряду с такими очевидными достоинствами типичные ПСЭ имеют недостатки. Популярный тип химического соединения на основе йодида свинца-метиламмония содержит йод, бром и хлор. При контакте с водой и кислородом, а также при периодическом нагреве до условно высоких температур элементы показывают изменения химического состава и структуры. Кроме того, изменение структуры происходит из-за остаточного слоя йодида свинца вблизи полученных химиче-

ской реакцией цикла осаждения кристаллов перовскита. Именно поэтому двойные и перспективные ПСЭ пока не завоевали рынок, но быстрыми темпами следуют к этому через совершенствование технологии. Доступность технологии изготовления, прямой полосовой зазор, высокие коэффициенты поглощения, свойство переноса амбиполярного заряда и его подвижность добавили материалам ПСЭ конкурентной способности в сравнении с типичными кремниевыми аналогами в полупроводниках. Основной проблемой для ПСЭ является аспект краткосрочной и долгосрочной стабильности. Нестабильность в основном связана с влиянием окружающей среды (влажность и состав воздуха), термическим воздействием (внутренняя устойчивость), возможным нагревом от приложенного напряжения, УФ-воздействием и условиями хрупкости составных материалов. Так, при наблюдении изменений в структуре ПСЭ в средах с различным содержанием в воздухе кислорода и азота – при изначально равных условиях его влажности – выявлены изменения, следовательно, наибольшая стабильность пока достигается при эксплуатации ПСЭ в воздухе без какой-либо инкапсуляции. Один из путей решения – выбор альтернативного материала для свинцовых соединений (изменение технологии), транспортного материала для слоёв, органических материалов НТМ, и выводов ПСЭ, электрических контактов для сбора зарядов из драгоценных металлов (платина, золото, серебро).

Нередко химические соединения образуются при высокотемпературной термической обработке в сотни градусов Цельсия, а известные нам перовскитные структуры при повышенной температуре

недостаточно стабильны, деградируют в ходе синтеза. В результате механохимического синтеза образуется порошок. Но и тут есть апробированное решение: методы получения ПСЭ таковы, что из порошка посредством процессов растворения и осаждения образуется плёнка для фотоэлемента. Кроме того, освоено использование органических растворителей для синтеза перовскитов без воздействия высоких температур. При воздействии света ПСЭ начинает выцветать, как фотоплёнка. Чтобы материал не терял светопоглощающих свойств, его нужно синтезировать с иными сверхкомпактными материалами. Сейчас путь от материала до готового фотоэлемента занимает всего пять часов.

Реалии и перспективные технологии защиты материалов

Определяющие перспективы защиты компонентов ПСЭ прямо связаны с совершенствованием технологии. Именно от качественной (защитной) технологии зависит перспектива ПСЭ в ближайшие годы, преодоление главных проблем стабильности работы, резистентности к внешним условиям и факторам и в целом долговременности эксплуатации. В этом направлении результат хороший: за 5 лет увеличили время эксплуатации материалов для ПСЭ от нескольких минут до 4000 часов. Разработчиками поставлена следующая планка: 10 000 часов, что коррелирует с требованиями по сертификации и стандарту. Исследованиями, предпринятыми для защиты компонентов, установлены условия разрушения металлоорганического галогенида – основы перовскитового материала Omos. Для защиты от вредных воздействий предложена инкапсуляция поглотителя перовскита композитом углеродной нанотрубки и инертной полимерной матрицей, что успешно предотвращает немедленную деградацию материала, подверженного воздействию влажного воздуха, особенно в температурном режиме свыше 60°C. Применение в технологии защиты углеродных нанотрубок успешно защищает материал на клеточном уровне даже в условиях насыщенного солнечного воздействия.

Влажность имеет как положительное, так и отрицательное воздействие на ПСЭ. Этот рискованный фактор остаётся одной из основных причин деградации Omh-PSC. Поэтому пока производство рекомендовано в контролируемой

атмосфере с уровнем влажности менее 1%. В защищённых условиях производственный процесс формирования плёнки приводит к образованию больших кристаллов и уменьшению «пятен» плёнки. Эта реконструкция ускоряет зарождение и кристаллизацию перовскитного материала, что влияет на качество и долговечность ПСЭ.

Установлено, что длительное воздействие ультрафиолетовым спектром снижает производительность ПСЭ. Так, при реализации устройств, в которых мезопористый слой TiO_2 sensibilized поглотителем перовскита, отмечается УФ-неустойчивость [7]. Относительно низкая теплопроводность в значении 0,5 Вт/м·К (характеризуется коэффициентом теплопроводности), замеренная при комнатной температуре, предотвращает нагрев ячейки, осаждаемой световым потоком, и поддерживает резистентность к тепловым напряжениям. Экспериментально доказано, что остаточные микрочастицы свинцового сплава рядом с кристаллом в перовскитной плёнке отрицательно влияют на долговременную работу и температурную стабильность. При этом замена органической подложки слоем оксида металла частично решает эту проблему.

В будущем именно Солнце станет основным источником электроэнергии. Ультратонкие солнечные экологичные панели будут промышленным способом вплетены в ткани одежды, и портативные электронные устройства смогут заряжаться от пиджака, платья, зимней куртки. При этом вес одежды не изменится. Массовое использование ультратонких панелей на основе ПСЭ во всех сферах жизни постепенно приведёт к снижению их стоимости до минимума и возрастанию мощности. Можно сказать, что у ПСЭ огромные перспективы развития: несколько десятков исследовательских коллективов по всему миру, включая московскую лабораторию МИСиС, а также Лабораторию новых материалов для солнечной энергетики Факультета наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова (в сотрудничестве с М. Гретцелем), продолжают работы с экспериментальными соединениями и будут стремиться к результативному «прорыву». Пока нельзя говорить об окончательных выводах по созданию идеальной технологии, но, несомненно, она пополнит копилку научных достижений в будущем. Это событие выведет разработчиков РЭА в области преобразователей солнечной энергии на новый, доселе невиданный

уровень. Не за горами то время, когда встроенный аккумулятор портативного электронного устройства или смартфона будет моментально заряжаться от кратковременного луча, в том числе многократно отражённого, и случиться это может уже к 2055 году.

Литература

1. Березин Н. Горизонт перовскитных событий. Что мешает перовскитам завоевывать солнечную энергетику // URL: <https://nplus1.ru/material/2020/04/17/perovskite-solar-cells-future>.
2. Li X. et al. A vacuum flash-assisted solution process for high-efficiency large-area perovskite solar cells // Science (80). 2016. Vol. 8060, № June. P. 1-10. URL: <https://www.dissercat.com/content/slot-die-pechatnye-perovskitnye-solnechnye-elementy-s-p-i-n-arkhitekturoi>.
3. Белич Н.А. Новые подходы к формированию светопоглощающих слоёв перовскитных солнечных элементов на основе фаз APbX_3 с использованием реакционных полигалогенидов: дис. ... канд. хим. наук. М., 2022 // URL: <https://www.dissercat.com/content/novye-podkhody-k-formirovaniyu-svetopogloshchayushchikh-sloev-perovskitnykh-solnechnykh-elem>.
4. Гибкие солнечные панели. Nature Communications // URL: <https://smarthomegadget.ru/gibkie-solnechnye-paneli/>.
5. Как выглядит перовскит, фото с сайта // URL: <http://electricalschool.info/helio/2734-perovskitnye-solnechnye-batarei.html>.
6. Технологический стартап из будущего. Как в Москве делают «всепогодные» солнечные батареи // URL: <https://snob.ru/made-in-russia/tehnologicheskij-startap-iz-budushego-kak-v-moskve-delayut-vseopodnyie-solnechnye-batarei/>.
7. Перовскитная фотогальваническая ячейка // URL: <https://www.hisour.com/ru/perovskitic-photovoltaic-cell-39678/>.
8. Канадский форум учёных. Светочувствительная краска // URL: <https://canpath.ca/fr/forum-des-scientifiques/>.
9. Белич Н., Петров А. и др. Как стабилизировать стандартные перовскитные солнечные элементы, чтобы они могли работать в условиях окружающей среды более 1000 часов, используя простую и универсальную герметизацию // Журнал энергетической химии. Т. 78, март 2023 (в планах к выходу), с. 246–252 // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095495622006696?via%3Dihub>.



Инновационные методы коррекции свойств RR- и RC-материалов электронными устройствами – генераторами волн СВЧ-диапазона частот

Вадим Экземплярский

Современную жизнь затруднительно представить без СВЧ-энергии, как в быту, так и в научных исследованиях, которые не перестают нас удивлять своими открытиями. В статье проанализированы инновационные разработки изменения свойств некоторых материалов с помощью электронных устройств, функционирующих в СВЧ-диапазоне частот. Изменение материалов с помощью новейших электронных технологий в области СВЧ даёт огромные перспективы развитию и безопасности человека.

Светоотражение как способ выживаемости

Явление, известное как эффект урбанизма, или «городская проблема сохранения света и тепла» (УНИ), распространяется по всему миру. В основном – из-за непрекращающейся миграции жителей из сельской местности в города. Это приводит к увеличению количества транспортных средств, систем кондиционирования воздуха, электрических обогревателей, светофоров, уличных фонарей и других устройств современной электроники, выделяющих тепло при работе. Строительство домов, предприятий, дорог также способствует эффекту УНИ, ибо при этом активно используются асфальт, бетон, металлы и кирпичная плитка, которые, с одной стороны, хорошо поглощают тепло, а с другой – не отражают световую (в том числе солнечную) энергию. Так, густонаселённые районы и территории (конгломерации и мегаполисы) потребляют около 75% вырабатываемой во всём мире электроэнергии, хотя занимают всего 2% поверхности Земли [1]. К проблематике постоянно приковано внимание не только специалистов в области экологии и защиты окружающей среды, но и разработчиков РЭА, поскольку результативность совместных исследований зависит от всестороннего вклада неравнодушных людей в свою жизнь и будущее своих детей.

С этой целью разрабатывается несколько стратегий для смягчения эффекта УНИ. В целом их можно

классифицировать как планирование городских конструкций с учётом экологического обеспечения (зелёные насаждения, устройства вентиляции и циркуляции для воздушного потока, зелёные крыши) и разработка систем пассивного энергосбережения в инновационном формате (стены с «солнечными панелями», модули «сбора» солнечной энергии на большой площади, поля с ровным (однородным) ландшафтом, фенестрация, теплоизоляция, аккумулялирование и преобразование электроэнергии, энергосбережение и др.).

В соответствии с обозначенным трендом в стратегии пассивного энергосбережения больше внимания уделяют «холодным» поверхностям отделочных материалов, в основном пигментам, керамике, стеклу и стеклокерамическим материалам, а также световозвращающим материалам (RR) и материалам с изменённой фазой (PCM). RR и PCM обладают высокой отражательной способностью, особенно в видимом и инфракрасном диапазонах. Их использование снижает температуру воздуха в среднем на 2°C, хотя каждое инженерное решение оптимизируют для конкретной городской зоны из-за её особенностей расположения, климата, среднегодовой солнечной активности и иных характеристик.

Так, например, изготовили образцы из шеелитовых и циркононовых стёкол; изменения формы их кристаллов обусловили возможность создания новых эмалированных покрытий. Оказалось,

что высокая преломляющая способность циркона препятствует кристаллизации шеелита, поэтому смесь двух стёкол приводит к возникновению некристаллизованных областей, которые, в свою очередь, влияют на оптические свойства (отражательную способность) поверхности. В некристаллизованных областях выявлено условно большое количество свободного кислорода, что привело к уменьшению коэффициента отражения солнечного света.

Первая СВЧ-печь

Довольно много споров идёт о том, как правильно называть вещи: «микроволновая печь» или «СВЧ-установка»? Свет на этот вопрос может пролить сама история изобретения бытовой СВЧ-печи. В 1945 году американский инженер из штата Мэн Перси Спенсер был принят в компанию Raytheon Technologies Corporation разработчиком активных радаров для военной промышленности. Занимаясь созданием прообраза современного магнетрона, мужчина заметил, что микроволны от экспериментального аппарата расплавили шоколадный батончик в кармане. Как нередко бывает, практический побочный эффект изобретения заинтересовал исследователя сильнее, чем результат выполнения поставленной задачи. Продолжая экспериментировать, Перси расположил рядом с трубкой магнетрона зёрна кукурузы, и те разогрелись настолько, что превратились в попкорн. Положил яйцо – и вскоре оно взорвалось [8]. При нагреве куриного яйца происходит денатурация белков, внутримолекулярная перегруппировка молекул: внутренняя структура вещества нарушается, а частицы протеинов собираются в более крупные – белок становится белым и твёрдым. Вместе с ассистентом Роли Хэнсоном инженеры сделали металлический ящик размерами 35×65 см, поместили туда магнетрон и,



Рис. 1. Первая в мире бытовая СВЧ с водяным охлаждением (США, 1975 год)

сами того не осознавая, дали старт первой в мире бытовой микроволновке. Очередное изобретение – одно из тех, которые люди делают иногда случайно, – получило название «Speedy Weenie» («Быстрая сосиска») [8]. Первая бытовая СВЧ и её счастливая обладательница представлены на рис. 1.

Разумеется, открытие Спенсера обусловило проведение множества экспериментов-исследований в сфере разогрева подключённым магнетроном сырых и готовых блюд. Интересно, что есть и такие результаты исследований по теме изменения свойств материалов под воздействием СВЧ-волн: оказывается, некоторые расщеплённые СВЧ органические материалы вполне можно восстановить. В 2015 году опубликована статья о том, как учёные из Калифорнийского университета в Ирвайне вернули приготовленное в СВЧ-устройстве яйцо в исходное состояние [10].

Известно, что волнами СВЧ можно провести термообработку при температуре, обеспечивающей безопасность употребления продукта человеком, даже сырое мясо. Для этого вовсе не обязательно строить ящик с металлическим экраном, потому что пища подогреется и вблизи открытого магнетрона, а экранированный корпус камеры СВЧ-печи бытового назначения нужен лишь для безопасности человека (уменьшения влияния радиоволн). Частотный выбор конкретного участка микроволнового диапазона определили опытным путем при многих исследованиях и экспериментах по



Рис. 3. Вид современной бытовой СВЧ-печи, установленной в интерьере кухни

уменьшению потерь энергии при тех же характеристиках импульсов, тока и напряжения, воздействующих на магнетрон. Тем не менее первые микроволновки делали размером с газовую печь и подключали к водопроводу – жидкостному охлаждению. Только в 1965 году разработчики придумали, как сбрасывать температуру магнетрона с помощью воздуха. В 1975 году изобретение произвело фурор, и микроволновки в США обогнали по продажам газовые плиты. Таков пример условной конверсии, когда на потребительском рынке технология в итоге оказывается более востребованной и прибыльной, чем на оборонном.

В качестве иллюстративного примера на рис. 2 показана СВЧ-установка Raytheon RadaRange на борту атомного грузового корабля NS Savannah (США), 1961 год. На рис. 3 представлен вид на современную бытовую СВЧ-печь, установленную в интерьере кухни.

Возможности современных СВЧ-печей крайне обширны. Например, в микроволновке можно приготовить



Рис. 2. СВЧ-установка Raytheon RadaRange на борту атомного грузового корабля NS Savannah (США)



Рис. 4. Вид на магнетрон бытовой современной СВЧ-печи

даже эспрессо. Правда, для этого нужна специальная гейзерная кофеварка, сделанная из устойчивого к воздействию СВЧ-волн материала. Именно преобразование материалов обсудим в следующем разделе статьи. Микроволновая печь может использоваться в быту как замена духовому шкафу для производства выпечки, обеззараживания губок для мытья посуды; как водяная баня для продуктов, пароварка и способ приготовления яйца-пашот; для производства «облака мыла» для детей, а также во многих иных случаях. Магнетрон бытовой микроволновой печи выглядит так, как показано на рис. 4.

Мгновенное микроволновое спекание диоксида циркония с использованием новой каскадной стратегии

В области мгновенной обработки материалов микроволновая энергия представляет интересный способ уплотнения сложной формы благодаря бесконтактному объёмному нагреву. Достижение быстрого и равномерного

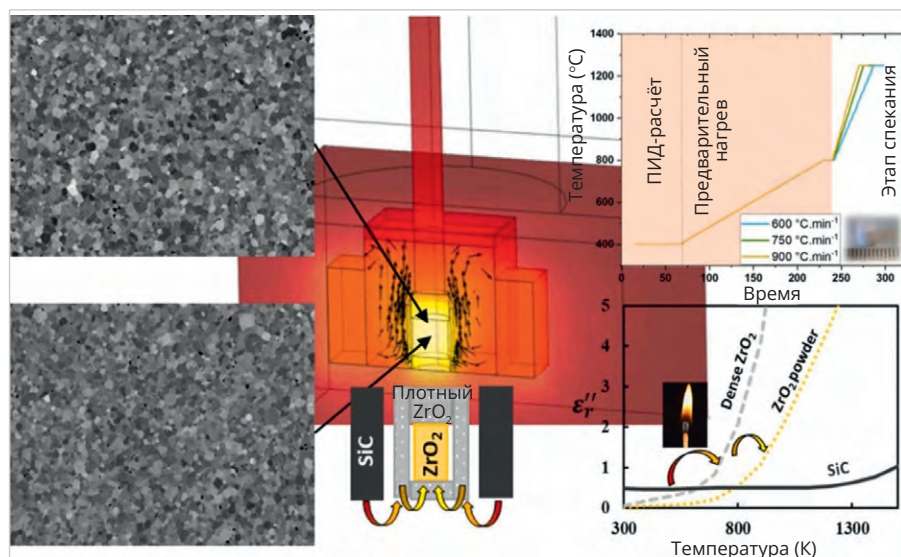


Рис. 5. Иллюстрация работы установки для мгновенного спекания материалов под воздействием энергии СВЧ-волн

нагрева до сих пор является проблемой во многих исследованиях. До последних пор в лабораторных разработках использовался гибридный нагрев керамики с использованием токоприёмников из карбида кремния. Однако новая стратегия (метод SiC) одновременного нагрева множественных элементов с помощью СВЧ при высоких скоростях нагрева до 1000 К/мин приводит к высокой стабильности воздействия на поверхность и мгновенному гибриднему нагреву. Этот метод стали называть «методом мгновенного спекания», а уточнённые результаты появились недавно, в сентябре 2023 года [3, 6].

Мгновенное микроволновое спекание впервые позволило получить плотные (относительная плотность 97%) микроstructures в течение 45 с во время импульсного воздействия микроволнового излучения. На рис. 5 представлена иллюстрация работы установки для мгновенного спекания материалов под воздействием энергии СВЧ-волн.

Мгновенное спекание – сверхбыстрый процесс уплотнения частиц материала за несколько секунд. Впервые о явлении заговорили в Колорадском университете в работе Cologna et al – подробнее в [3, 5], по результатам научных экспериментов. Особенность типичной конфигурации лабораторной установки в том, что электрическое поле и мгновенное воздействие создают с помощью электродов из платины, приложенных к образцу в форме собачьей кости. При определённых полевых и температурных условиях отрицательный температурный коэф-

фициент (ОТК) удельного сопротивления керамики, как и диоксида циркония, способствует резкому увеличению процесса Джоулевого нагрева [9]. Чтобы избежать плавления образца, температурный разгон управляется регулятором тока. На рис. 6 представлен график зависимости изменения свойств разных составов (материалов) от температурного воздействия в СВЧ.

Так, стекло ZG является наиболее тугоплавким стеклом с более высокой температурой спекания, в то время как SG спекается при относительно низкой температуре. Смеси SG-ZG демонстрируют промежуточные температуры спекания, хотя они аналогичны температуре спекания SG. Кроме того, стекло SG также имеет более низкую температуру начала растекания по подложке (площадь 30%), а более высокая температура соответствует смеси 25/75-SZ. Согласно рис. 6, смесь 75/25-SZ устойчива к воздействию широкого диапазона температур без изменения площади материала (870...1070°C). То же проявляется и для других смесей, хотя диапазон температур уменьшается с увеличением концентрации ZG. Область, где площадь материала не испытывает изменений под воздействием температуры, соответствует формированию сферической формы в ВСМ. Эффект указывает на то, что из-за высокой тугоплавкости ЗГ частицы обоих типов стекол могут взаимодействовать в интервале температур без уменьшения формы образца, и тогда для начала растекания необходимо приложить дополнительный СВЧ-нагрев.

Таблица 1. Зависимость и характеристики зоны отражения эмали, полученной под воздействием СВЧ-волн

Эмаль	Длина волны отсечки (нм)	Eg (эВ)	
		Прямой	Косвенный
100 с	302	3,97	3,43
75/25-СЗ	316	3,85	3,28
50/50-СЗ	326	3,76	3,15
25/75-СЗ	318	3,90	3,20
100Z	310	3,93	3,24

Изменения в свойствах материалов определяются и оригинальной структурой стёкол SG и ZG. В табл. 1 представлены сведения зависимости и характеристик зоны отражения эмали, полученной под воздействием СВЧ-волн. К примеру, в силикатных стёклах в сравнении с металлами (и металлокерамикой) щелочные катионы и ионы по-разному взаимодействуют в химическом процессе.

Известно, что кристаллизация циркона начинается примерно при 1000°C и очень быстро увеличивается между 1100°C и 1200°C. Согласно кривым, суспензии обжигали при температуре 1170°C – выше температуры сферы, когда вязкость достаточна для «растекания». В результате воздействия эмаль становилась «непрозрачной», что свидетельствовало о кристаллизации шеелита и циркона. На рис. 7 представлен график зависимости облучения СВЧ для разных типов эмалей.

Значения Eg 4,09 и 5,69 эВ получены для кристаллов шеелита, тогда как из экспериментальных УФ-видимых ИК-спектра зарегистрированные значения Eg варьировались от 4,2 до 6,8 эВ [11]. Для металлических сплавов, а также для огнеупорной или крайне огнеупорной керамики применяют метод электроискрового плазменного спекания – ИПС (SPS). Отличительные особенности: высокое давление (>100 МПа) и регулируемая сила тока в установке для воздействия на проводников – материалов с положительным температурным коэффициентом удельного сопротивления (РТС). Ещё одна особенность метода в том, что используется графитовая фольга для предварительного нагрева образца. С помощью мгновенного SPS изготовлены образцы огнеупорной керамики ZrB₂, HfB₂, TiB₂, SiC, MnO₄ и др. Используя установку СВЧ, можно контролировать изменение формы образца при

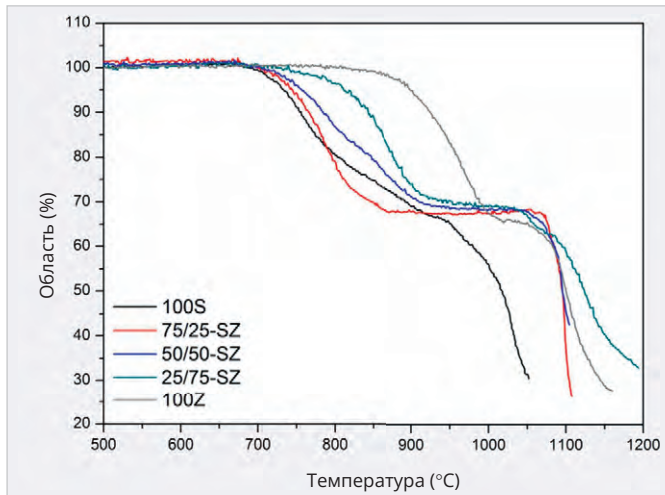


Рис. 6. Зависимость изменения свойств разных составов (материалов) от температурного воздействия в СВЧ

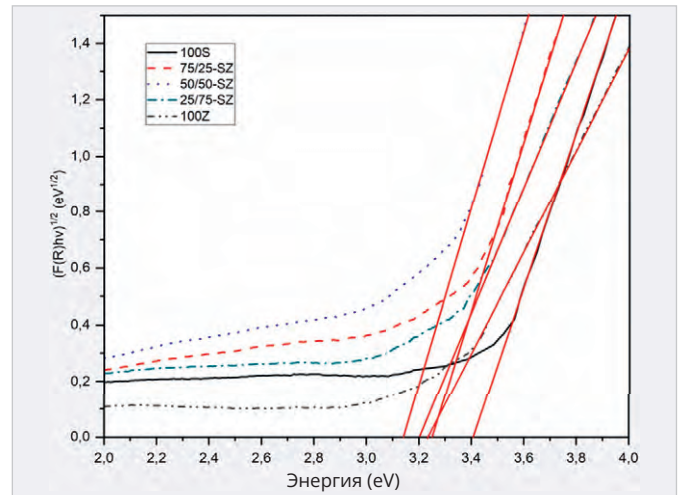


Рис. 7. Графики зависимости облучения СВЧ для разных типов эмалей

нагреве, в том числе чтобы обеспечить сверхбыстрое уплотнение материалов с различными электрическими характеристиками, таких как Ni , ZrO_2 , а также MoSi_2 , SiC или даже сложных химических соединений, как $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$.

Микроволновое импульсное воздействие изучалось на частоте гиротрона 24 ГГц и частоте магнетрона 2,45 ГГц. Волны СВЧ, создающие электромагнитное поле, позволяют сверхбыстро изменять свойства разных материалов и их сплавов, в том числе соединений полупроводника и диэлектриков за счёт биполярного взаимодействия.

Особенности мгновенного спекания для получения прикладного результата

Воздействие на изменение свойств материалов посредством микроволновой энергии потенциально перспективно для мгновенного спекания металлических порошков и изменения свойств различных материалов, причём не только содержащих металлы (и сплавы на их основе), но даже каменные породы, образованные много веков назад естественными природными процессами. При определённых температурных условиях в вакууме охлаждающие заготовки потоки создают температурные градиенты и для материалов НТС, что даёт большие перспективы развития науки и инженерной мысли. В качестве простых примеров можно привести изменения свойств горных пород (в области добычи полезных ископаемых и драгоценных металлов), повышение степени защиты людей и производств, электроустановок в шахтах и в условиях сейсмической опасности в районах возмож-

ного извержения вулканов. Ещё один практический вариант – горноспасательные работы, а также строительные работы в районах, насыщенных гранитом, в том числе при строительстве дорог и тоннелей. Разумеется, сфера применения полезных разработок шире: можно спекать даже глинозём (что в перспективе позволит осушать болота и труднопроходимые места, дороги в межсезонную распутицу).

К слову, необычные камни автор встречал в центральных и южных районах Румынии. Их называют тровантами и условно наделяют чертами живых существ. Расщеплять эту породу также удаётся с помощью СВЧ. Строение камня далеко от волшебного. Если аккуратно распиливать тровант пополам, то можно увидеть отличающиеся по толщине и цвету кольца, как на древесном спиле. В самом центре находится небольшое твёрдое ядро. Слои эти состоят не только из песка. Оттенки разных цветов им придаёт высокое содержание разных минеральных солей. Поэтому, когда камень намокает, он расширяется и «растёт». Увеличение размеров трованта связано с последовательной цементацией песка на его поверхности столетие за столетием, слой за слоем. Так и появляются новые трованты: сначала на поверхности глыбы появляется новый бугорок, увеличивается в размерах, а затем отпадает от материнского камня. Иллюстрация минералов представлена на рис. 8.

Попытки и результаты расщепления тровантов с помощью СВЧ говорят о том, что мы имеем дело с не описанным ранее геологическим процессом. В Румынии трованты используют в

качестве строительного и отделочного материала. Кроме того, на деревенских кладбищах юга страны шарообразные глыбы устанавливают в качестве памятников. Самые большие трованты под открытым небом достигают 10 метров в высоту. Камни, похожие на трованты, есть и в других местах планеты: в Казахстане, России и даже Лаосе. Они отличаются от румынских по химическому составу и цвету, но очень схожи своими свойствами [4]. Вот и ещё одна идея прикладного применения технологии СВЧ: расщепление камней и каменных пород с помощью микроволн. На рис. 9 представлена иллюстрация расщепления минерального состава камня под воздействием СВЧ.

Чтобы добиться успеха в гибридном нагреве, используются токоприёмники из материалов для микроволновой связи, таких как SiC , помогающие стабилизировать температурное поле и инициировать нагрев диэлектриков; последние соединяются (изменяют свою структуру – мгновенно спекаются) только при сверхвысоких температурах.

Мгновенное спекание посредством СВЧ-волн контролируется управлением электронного контроллера установки СВЧ. Для нагрева диоксида циркония используется система ПИД-регулирования и каскадная конфигурация с несколькими токоприёмниками, специально разработанная для гомогенизации температурного поля [3]. Нагрев индуцируется SiC -приёмниками, а флеш-гибридный нагрев образца обеспечивается плотными 3D-печатными приёмниками из диоксида циркония. Исследования



Рис. 8. Вид трованта – особого «размножающегося» минерального камня



Рис. 9. Иллюстрация расщепления минерального состава камня под воздействием СВЧ

микроволнового спекания путём увеличения ramпы нагрева проводились в лабораторных условиях. Данные по мощности микроволн в термическом цикле воздействия и относительной усадке представлены для экспериментов при температурном режиме 600, 750 и 900°С/мин. (воздействие соответствующей температурой в течение 1 минуты) на рис. 5. Рассеиваемая мощность лабораторной СВЧ-установки – в пределах 100 Вт при высокой скорости охлаждения материалов.

Мгновенное микроволновое спекание образцов материалов исследуют в лабораторных масштабах с использованием оригинальной каскадной стратегии (применяют устройства с несколькими токоприёмниками) [1, 3]. Несмотря на высокую температуру в ядре материала из-за объёмного СВЧ-нагрева, в результате получают и высокую стабильность гибридного нагрева. Причём разница температур внутри образца не оказывает существенного влияния на свойства материала, так как спекание посредством воздействия волн СВЧ происходит за очень короткое время – от доли секунд до минуты.

Что касается металлов, керамики, стекла, камня и даже пигментов, известных как холодные материалы, для них основной характеристикой является высокая отражательная способность солнечного света в видимом и инфракрасном диапазонах. Из новых разработок уместно привести в пример керамические пигменты с широким спектром поглощения тепла (красный, синий, розовый, жёлтый и др.). Уже разрабатываются керамические материалы для износостойких покрытий – черепица и даже плитка, элементы дорожного покрытия и, в частности, тротуара – с высокой видимой отражательной способностью, что

особенно востребовано в регионах с высокой солнечной активностью и бесснежными зимами. Именно там широко используются белые или цветные поверхности (плитка), состоящие из глиняной подложки с тонким слоем ангоба и внешним (поверхностным) слоем с высокой механической устойчивостью с добавлением «холодных» керамических пигментов. Ангобный слой содержит концентрации силиката циркония ($ZrSiO_4$) и производных циркония, обладающих высокой белизной для обеспечения высоких оптических свойств верхнего слоя.

Верхний слой – прозрачный, непрозрачный матовый или глянцевый – в основном состоит из стекла или стеклокерамического материала, известного как глазурь или эмаль. Для непрозрачных белых верхних слоёв основным компонентом является циркон из-за высокого показателя преломления (1,94–1,96), что приводит к высокой солнечной отражательной способности, составляющей около 80–90%. Поэтому циркон добавляют в виде микрометрических частиц в процессе кристаллизации во время обжига, когда верхний слой уже сформирован. Тогда образуются кристаллы в субмикрометровом диапазоне (малых размеров) сферической и/или игольчатой формы.

Из-за колебаний цен на цирконий для экономии производства отражающих материалов применяют метод «отбеливания». В последнее время шеелит признан стратегическим материалом для получения плиток с высокой белой поверхностью из-за высокого показателя преломления света (1,90–1,93) и особого характера кристаллизации в виде бипирамид менее 1 мкм. Шеелит легко кристаллизовать с помощью широкого спектра синтети-

ческих процедур, таких как химическое растворение, совместное осаждение, золь-гель, гидротермальный синтез, метод Чохральского и других. Однако доказано, что лучший метод получения бипирамидальных кристаллов заключается в зародышеобразовании-кристаллизации из матрицы кварцевого стекла, содержащего оксиды кальция и вольфрама. Тем не менее результаты свидетельствуют об отсутствии какой-либо композиционной тенденции. Оба стекла с близкими показателями преломления света (1,90–1,93 для шеелита и 1,94–1,96 для циркона) почти не изменяют свойства (характеристики), такие как цвет, блеск и SR, не зависят от концентрации SG, а это говорит о том, что оптические свойства в основном зависят от микроструктуры материалов.

Ещё один важный аспект. Под воздействием СВЧ-облучения наблюдается быстрое увеличение отражательной способности от УФ-видимой области до ближней ИК-области, причём в последней области отражательная способность материала, содержащего циркон и шеелит, остаётся практически постоянной. Чуть более высокая отражательная способность наблюдается у эмали марки 100Z, за которой следует 100S, что указывает на высокое рассеивание света из-за мелких кристаллических частиц в эмалях. С другой стороны, кривые отражения смешанных эмалей зависят от соотношения в материале «вставок» шеелит-циркон. Средние значения коэффициента отражения в УФ-, видимой и ближней ИК-областях находятся в том же диапазоне, что и у других циркониевых материалов. Поэтому приготовленные посредством СВЧ-облучения эмали имеют более высокую отражательную способность в видимой и

ближней инфракрасной областях, чем в УФ. Принимая во внимание, что БИК-область представляет более 50% всего энергетического спектра, такие эмали рекомендуют к использованию в зданиях для смягчения эффекта UHI.

Достигнутые результаты свидетельствуют о перспективных возможностях для смежных сфер: с помощью волн СВЧ можно не только изменять свойства материалов, но и достигать высококачественной полировки поверхности материалов и их отражательной способности. Более того, итоговый материал под воздействием СВЧ-излучения становится «закалённым» по отношению к внешним воздействиям. Для иллюстрации к проведённым исследованиям сообщается, что перед наблюдением образцы вырезались и полировались наждачной бумагой SiC зернистостью 1200. Для определения уровня белизны (цвета), прозрачности и отражательной способности полученного материала, а также характеристики шероховатости поверхности использовали оптический профилометр Zeta-20, Zeta Instruments. Параметр Ra (в микронах) уточняли путём нанесения 30 линий на поверхность участка материала площадью 30×30 мм² с разрешением 13 нм. Рентгеновские снимки получены с поверхности эмали дифрактометром Brucker D8 Advance с напряжением 40 кВ. Микроструктуру эмали наблюдали с помощью сканирующего электронного микроскопа FE-SEM, Hitachi 4700-S. Дополнительные возможности открываются в производстве материалов для РЭА и промышленности: керамических конструкций миниатюрных проходных фильтров для подавления электромагнитных помех в устройствах СВЧ-диапазона частот [2].

Заключение

У дальнейших исследований изменений свойств различных материалов под воздействием СВЧ есть большие перспективы. Так, высококачественные образцы однослойного нейтрального графена демонстрируют крайне высокое магнитосопротивление. Также обсуждаются гипотезы о том, что сопротивление зависит от индукции магнитного поля. Дираковская плазма по-разному чувствительна к электронно-дырочным рекомбинациям и, как следствие, к температуре. Для объяснения экспериментальных закономерностей нужны новые модели и разработ-

ки в области СВЧ-технологий. Также требуется решение проблемы распределения плотности СВЧ-энергии, то есть равномерного покрытия для воздействия в каждой точке камеры, особенно когда решается задача изменения свойств неоднородных материалов. Так, для производства двумерной формы циркония используют плоские электроды, сочетая роботизированное литьё с мгновенным спеканием. В результате получают плоские и стойкие к высокотемпературному воздействию формы и решётчатые структуры керамики разных свойств (к примеру, YSZ); твердотельные электролиты на основе оксидов – методом реактивного мгновенного воздействия. При совмещении мгновенного метода принудительной механической деформации материалов в условиях СВЧ-облучения (SPS-метод) разработчики уже получили 30-мм модели сложной конфигурации из диоксида циркония с субмикронной микроструктурой. Наглядным примером могут быть износостойкие шестерёнки как элементы электромеханических конструкций, рассчитанных на практически вечную работу. Преимущество метода состоит также и в том, что для трёхмерных сложных форм бесконтактный объёмный нагрев – лучшее решение для мгновенного изменения свойств оксидов.

В июне 2023 года в рамках Саммита дизайн-центров электроники технический директор АО «НИИЭТ» Игорь Семейкин представил доклад на тему «СВЧ и силовая ЭКБ на основе GaN, перспективные микроконтроллеры для гражданского рынка» в рамках кооперационной сессии «Российская ЭКБ и модули для гражданского рынка» [7]. Производство СВЧ-кристаллов, сборки ВЧ- и СВЧ-транзисторов, в том числе LDMOS, интегральных схем, а также испытаний ИС- и СВЧ-компонентов было в центре внимания специалистов и разработчиков РЭА. Выпускаемые на основе нитрида галлия (GaN) силовые и высокочастотные электронные компоненты разработаны по собственной (НИИЭТ) топологии и конструкции производства кристаллов нитрида галлия на кремнии (GaN-on-Si). Кроме того, уже реализован запуск некоторых GaN-приборов в серию по фаблесс-модели. Таким образом, можно говорить и о частичном импортозамещении некоторых электронных компонентов в рассматриваемой области.

Литература

1. Ян Дж., Ван З.-Х., Калус К.Э. Воздействие отражающих материалов на окружающую среду // *Energy Rev.*, 2015. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84926058911&origin=inward&txGid=186f1342a2b12564cd879280f0dd92f8>.
2. Джурицкий К. Миниатюрные помехоподавляющие фильтры СВЧ диапазона частот // *Современная электроника*. 2023. № 7 URL: <https://www.soel.ru/online/miniaturnye-pomekhopodavlyayushchie-filtry-svch-diapazona-chastot/>.
3. Журнал Европейского керамического общества. Т. 43, вып. 11, 9–2023. С. 5014–5025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221923002820#fig0025>.
4. Живые камни – трованты // URL: https://emosurff.com/post/9595?utm_source=world&utm_medium=med0&utm_campaign=camp0&jump_tag_id=0.
5. Мгновенное спекание глинозёма: влияние различных условий эксплуатации на уплотнение // *Журнал Европейского керамического общества*. Т. 43, вып. 11. 2023. Сент. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955221923002819>.
6. Муру К. и др. Стратегии Cool Surface (2022) // URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85124522483&origin=inward&txGid=42d74213d0381b8662875985957112e1>.
7. СВЧ и силовая ЭКБ на основе GaN, перспективные микроконтроллеры для гражданского рынка от АО «НИИЭТ» // URL: https://www.soel.ru/novosti/2023/svch_i_silovaya_ekb_na_osnove_gan_perspektivnye_mikrokontrollery_dlya_grazhdanskogo_rynka_ot_ao_niie/.
8. Факты об СВЧ-печах // URL: https://masterok.livejournal.com/8928722.html?utm_source=3userpost.
9. Ковтун В.А., Пасовец В.Н. Оптимизация технологических режимов процесса электроконтактного спекания наноструктурированных метаполимерных композиционных материалов // *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*. 2020. № 3/4. URL: <https://elib.gstu.by/bitstream/handle/220612/23893/24-33.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
10. Shear-Stress-Mediated Refolding of Proteins from Aggregates and Inclusion Bodies // URL: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cbic.201402427>.
11. Understanding Ceramic Capacitors: types – MLCC, COG, X7R, Y5V, NP0, etc. // URL: <https://www.electronics-notes.com>.



Будущее летательных аппаратов с электрическими силовыми установками

Вадим Экземплярский

Воздушное такси, как пассажирское, так и грузовое (и иных назначений), – неизбежная повседневность следующего десятилетия. Проблемы снижения вредных выбросов CO₂ в атмосферу, безопасности и скорости полётов волнуют многих. В статье рассмотрены направления развития инженерной мысли разработчиков самолётов, вертолёт, коптеров и дирижаблей на электрической тяге, их перспективы, достоинства и недостатки.

Аэротакси (Air Taxi), или воздушное такси (Flying Taxi), – это транспортные услуги по перевозке пассажиров на короткие расстояния с помощью малых воздушных судов. В отличие от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), беспилотных воздушных судов (БВС), коптеров – всего того, что объединено англоязычной аббревиатурой UAV (Unmanned Aerial Vehicle), – аэротакси уже не вызывают благоговейного восхищения, которое сопровождало первые паровозы 200 лет назад. В 2023 году говорят о том, что в 2027 году аэротакси будет почти повсеместным. При этом вдохновляющие идеи о создании инфраструктуры аэротакси с электрическими силовыми агрегатами не утихают с середины XX века. Главным преимуществом ещё не существующей технологии считался выигрыш во времени. Теперь к экономии времени добавились доступность и экологичность, а также то, что двигатели винтокрылых машин могут позиционироваться не только в вертикальной плоскости (как у вертолёт, дрона или мультикоптера),

но и менять угол наклона, в том числе уже в полёте, до 90°, как в классическом самолёте; именно такие перспективные разработки ведутся сегодня. Короткие авиаперелёты на расстояние до 120 километров практиковали и в Европе, и в Австралии, и в США. Но билет в один конец в Мельбурне стоил 10% от недельной зарплаты гражданина страны, а Лос-Анджелесская вертолётная компания (LAA, Калифорния) применяла до 1971 года модель вертолёт Sikorsky S-76C, вмещающую 28 человек, – настоящая летающая маршрутка [3]. Поездка обходилась в (\$80 по курсу 2023 года. Потому клиентами были обеспеченные предприниматели, политики и богатые туристы.

Воздушный транспорт – не новая идея для такси и частных перевозок. Вертолёт и даже дирижабли давно используют в Европе и США. Компании и частные лица, имеющие достаточный капитал, пользуются вертолётными, почти как такси, с 70-х гг. XX века. Сервис воздушного такси в постоянном (не тестовом) режиме запустили в Лос-Анджелесе, Далласе и Мельбур-

не (Австралия). Программа, названная Uber Air (Австралия), по замыслу разработчиков, обеспечит перелёты между пригородами и внутри городов.

Современные реалии

Первым проектом Uber (2019 г.) стал трансфер из аэропорта в Нью-Йорк. Компания Joby анонсировала аэротакси быстрым и доступным, но поездка на метро в Нью-Йорке оказалась на 3 минуты быстрее и на \$223 дешевле. Тем не менее у проектов аэротакси есть ряд нерешённых проблем, а кое-где и сопротивление общественности, обеспокоенной безопасностью воздушного пространства и вопросами его регулирования. Федеральное управление гражданской авиации FAA (США) разработало глобальный план развития воздушного такси к 2028 году [3]. Так, в 2022 году на базе Университета Северного Техаса протестирован первый воздушный коридор в рамках проекта беспилотного аэротакси, а в 2023 году в аэропорту Гринпорт (Техас) продемонстрировали выставочный зал для моделей eVTOLs. Также планируется создать «зелёный» вертопорт/дилерский центр для электрических вертолётов с нулевым уровнем вредных выбросов (рис. 1).

Расположение зданий и потоки воздуха, особенности порывов ветра в определённых районах влияют на возможности размещения и эксплуатации вертодромов. Развитие направления зависит от возможности построить и эксплуатировать сотни площадок посадки-высадки в мегаполисах и пригородах. Пока для вертодромов выбирают специальные точки на местности, учитывая, что внезапные порывы ветра создают угрозу для безопасности аэротакси и могут привести к нештатной ситуации.

Электровертолёты eVTOLs

С применением eVTOLs (Electric Vertical Takeoff and Landing) небольшие воздушные суда на электрической тяге с возможностью вертикального взлёта и посадки приблизились к гибриду самолёта, вертолёт и мультикоптера. Устройства, управляемые



Рис. 1. Проект вертопорта на базе аэропорта Гринпорт, Техас, США



Рис. 2. Экосистема воздушного транспорта



Рис. 3. Вид электровертолёта Joby S4



Рис. 4. Особенности охлаждения силовой установки



Рис. 5. Внешний вид электровертолёта (аэротакси) Midnight

человеком, в том числе с функцией автопилот имеют особенности: оснащаются электрическим приводом и отличаются использованием мощных литий-ионных аккумуляторов. Аккумуляторные батареи – главный компонент электрической силовой установки для eVTOL. Поэтому перспектива аэротакси во многом зависит от прогресса в производстве литий-ионных АКБ. В 2023 году уверенная (с запасом) дальность полёта имеющихся моделей пока ограничена; в сравнении с классическим вертолётом она составляет примерно 80 км против 800 км [2].

Однако есть преимущество: вертикальные взлёт и посадка позволяют экономить энергию и использовать даже небольшие пространства (крыши домов, морские и наземные платформы и небольшие площадки), что особенно актуально в мегаполисах. В основе конструкторской мысли – управление с помощью пропеллеров и несущих винтов, статичных и наклоняемых для достижения манёвренности. Поэтому устройства для перевозки людей и грузов стали называть электровертолётами, условно бесшумными из-за применения электродвигателей. Более того, станции для зарядки аккумуляторов используют электричество из возобновляемых источников. Крайне важен и

параметр «плотность энергии аккумулятора» (Вт·ч/кг) – условная энергоёмкость при определённых массе и объёме. Чтобы выдерживать конкуренцию с привычными видами авиатранспорта, устройства eVTOLs используют относительно лёгкие аккумуляторы с высокой плотностью. Это позволит преодолевать расстояние по воздуху без подзарядки и повысить вместимость транспорта. Одним из ключевых факторов развития «воздушного такси» является доступность и стоимость перелётов до \$10 за 1 милю (1,61 км). Именно поэтому дороговизна услуг зависит от цен на аккумуляторы, стоимости инфраструктуры вертопортов и оборудования для зарядки электровертолётов. Если плата будет слишком высока, воздушное такси может остаться привилегией для миллионеров. Экосистема предприятия воздушного транспорта представлена на рис. 2.

Некоторые модели электровертолётов

Известной и перспективной в вопросах сертификации оборудования является компания Joby Aviation из Калифорнии (США, основатель компании – Джобен Беверт), выкупившая наработки Uber в 2020-м. С момента основания в 2009 году Uber Elevator занимались раз-

работкой литий-ионных аккумуляторов и электродвигателей. На рис. 3 представлен вид электровертолёта Joby S4.

Электровертолёт рассчитан для полёта на расстояние до 240 км без подзарядки и развивает скорость до 320 км/ч, имея небольшую вместимость: 4 пассажира. «Плотность» АКБ для силовой установки – 300 Вт·ч/кг, она охлаждается с помощью специальных пластин, установленных между элементами (рис. 4).

Компания Archer Aviation (Калифорния, США) уже подписала контракты по развитию инфраструктуры аэротакси с Японией и Южной Кореей. Имеются собственные разработки электровертолёта Midnight (рис 5). Технические характеристики таковы: до 160 км без подзарядки при максимальной скорости 161 км/ч. Отличительное преимущество – подзарядка между полётами, которая должна составить 10 минут. Салон вмещает 4 пассажира [3].

О необходимости и реализованных проектах «быстрых» ЗУ следует сказать особо. В устройстве адаптера зарядки используются мощные транзисторные ключи со сверхмалыми остаточными напряжениями, отдающие излучательную индукционную мощность 15–20 кВт / 200 МГц / 200 В. Проблема решается



Рис. 6. Внешний вид Volocopter от e-Volo

применением мощных GaAs MOSFET с рабочим напряжением 400–600 В, работающих в импульсном режиме с длительностью меньше 0,1...0,5 мкс с мультифазным параллельным включением (режим «наложенной» скважности), по существу, это индукционная ВЧ блок-плата с ВЧ-индуктором. Мощные СВЧ MOSFET-ключи с «циклоидными» GaAs SBD отличаются тем, что носители заряда движутся в твердотельно-вакуумном межфазном пространстве по спирали, избегая фоновой или электронного рассеивания (улучшение подвижности электронов μ_n). Такие элементы – относительно новое техническое решение, они реализуются на кристаллах GaAs с квантово-точечными магнитными центрами на основе атомов лантаноидной группы таблицы Менделеева [5].

Конкуренцию Joby и Archer Aviation составляют и другие компании, специализирующиеся в области воздушного транспорта:

- Supernal (Вашингтон), дочерняя компания Hyundai Motor Group, применяющая в конструкции аэротакси термопластичный углеродный композит;
- Wisk Aero (Калифорния), купленная Boeing и представившая уже 6-й прототип аэротакси;
- EHang (Нью-Йорк) принадлежит КНР и развивается на азиатском и американском рынках.

Идеей аэротакси «загорелись» не только американцы. В Германии разработкой eVTOLs занимаются стартапы Lilium с пятиместным Lilium Jet и eVolo с Volocopter, отличившимся оригинальным конструкторским решением, делающим аэротакси похожим на дрон за счёт корпуса в виде осы, поверх которого установлена круглая рама с лопастями (рис. 6).

Таким образом, частные и малые воздушные суда становятся более

маневренными, быстрыми и удобными. Однако повсеместный запуск сети аэротакси встречается с проблемами не только в технической, но и в правовой областях. Немаловажным критерием служит мнение общественности (особенно в США, где протестующие жители Сан-Франциско бойкотировали автобусы Google). Относительно привычных вертолетов eVTOLs довольно тихие, но на малых высотах шум будет слышен на земле, что потенциально может разозлить жителей и без того шумных городов. Кроме того, разработчики активно развивают идею с автоматическим управлением воздушного транспорта: не каждый согласится, чтобы у него над головой летали «вертушки» без пилотов. Недоверие к новому виду транспорта может возникнуть и из-за устоявшейся репутации вертолетов. Уязвимым местом являются поверхности для посадки-высадки: компании планируют использовать крыши промышленных и жилых строений, что не вполне безопасно. Показательный пример – катастрофы с участием вертолета упомянутой выше компании LAA в Нью-Йорке в 1968 и 1977 годах сломанная стойка шасси привела к опрокидыванию вертолета на крыше, некоторые жертвы были изрезаны лопастями. Шанс выжить в вертолетной аварии оценивается как низкий – не более 50%. Для автомобилей принимают к сведению количество аварий в расчёте на километры и мили, для вертолетов – на налётанные часы. В России вертолеты тоже считают небезопасным видом транспорта. Тем не менее в коммерческих перевозках случается гораздо меньше аварий, чем в частных, даже если учитывать статистику (США), свидетельствующую о том, что вертолеты в 85 раз (!) опаснее наземного транспорта. При этом воздушное логистическое пространство загружено намного мень-

ше наземного и подземного (метро). К слову, Ларри Пейдж, сооснователь Google, свой проект воздушного такси Kittyhawk закрыл.

Доверие, безопасность и сертификация

Проблематика сертификации воздушных судов и их отдельных компонентов, а также урегулирование безопасности – актуальная повестка для аэротакси. Сертификацией воздушного транспорта в США занимается Федеральное управление гражданской авиации – FAA. Изначально воздушные суда приравнивались к «малой авиации», сейчас же для них внедрили специальную категорию. Европейское агентство по безопасности полётов EASA опережает американцев: правила и руководства сертификации относительно годности, лицензирования пилотов и эксплуатации eVTOLs выпущены еще в 2020-м [2]. Эксплуатация летательных аппаратов на высотах до 500 метров в процессе урегулирования и сертификации и создание необходимой правовой и технической инфраструктуры при лоббировании своих интересов заинтересованными сторонами займёт немного времени. Управление гражданской авиации США уже выпустило временные требования к безопасности полётов рассматриваемого сегмента воздушных судов и заканчивает проектирование сертификации eVTOLs. Для развития отрасли аэротакси необходимо совершенствовать следующие направления:

- авиационным регуляторам потребуются новые системы управления воздушным движением и регламент полётов, чтобы контролировать воздушную логистику (рейсы);
- разработать правила движения транспортных средств как гарант безопасности в небе и на земле;
- необходимо создать системы предотвращения опасного сближения (подобно TCAS для самолётов) и снабдить ими пилотируемые летательные аппараты, а также БПЛА. Последние могут стать потенциальной угрозой безопасности из-за доступности и маленьких размеров [4]. Обеспечить безопасное движение в городе помогут электронные датчики: оптические и ИК-диапазона. Они позволят обнаруживать здания, стаи птиц, другой транспорт и молниеносно передавать информацию системе контроля и навигации. Непредвиденные

обстоятельства, такие как изменение погоды, направления ветра, воздушный трафик, должны распознаваться и обрабатываться программным обеспечением бортовых компьютеров. Но управление не будет совершенным без отлаженной системы связи между транспортными средствами и наземными пунктами. К слову, такой стандарт радио- и интернет-связи для аэротакси в октябре 2023 года разработали в Университете Северного Техаса. Вероятно, грузоперевозки при помощи электролётов получат широкое распространение раньше, чем перевозка людей, ибо к новому типу воздушного транспорта относятся недоверчиво. Но очень скоро производство летающих такси разовьётся, и в крупных городах они станут привычным элементом инфраструктуры.

Другие пилотные проекты

Пилотный проект Lyte Aviation (Великобритания) вышел на рынок авиаперевозок с оригинальной разработкой: полноценным 44-местным самолетом с 8 традиционными ДВС, но с вертикальным взлётом и посадкой за счёт поворотных крыльев. Крейсерская скорость превысит 1000 км/ч, а дальность действия – 300 км. В будущем этот летательный аппарат планируют усовершенствовать, снабдив его водородно-электрической силовой установкой. Цена аппарата в предварительных заказах – около €40 млн. На рис. 7 представлено изображение 44-местного электросамолёта SkyBus [8].

Условно вытянутый корпус хромированного бизнес-джета с двумя парами недлинных крыльев спереди и сзади. На крыльях расположены средних размеров двигатели, по 2 на крыло – всего 8. Они выглядят небольшими для самолёта такого размера. Для вертикального взлёта и посадки крылья поворачиваются вместе с пропеллерами вверх, и как только SkyBus оказывается в небе, они принимают горизонтальное положение и разгоняют аппарат до крейсерских скоростей. Уровень мощности силовой установки – 3500–5000 л. с. Похожие проекты предлагали разработчики других зарубежных фирм, но эффективное решение проблемы управления в условиях сильных порывов ветра, толкающих воздушные потоки в вертикально стоящее крыло, во время взлёта или посадки найдено не было. Это действительно проблема современных разработок: как справиться с порывами ветра на высоте и в полете, исключить и



Рис. 7. Иллюстрация 44-местного электросамолёта SkyBus

минимизировать эффект «парусности». Исходя из последних анонсов, инженеры компании Lyte Aviation значительно продвинулись в решении этой актуальной проблемы.

Приведём другой достойный внимания пример. Калифорнийская компания Universal Hydrogen начинала как поставщик водородного топлива, а затем занялась переоснащением самолётов, летающих на типичном топливе, авиационном керосине, в экологически чистый воздушный транспорт. «Бомбардье Дэш-300» – региональный пассажирский самолёт с уникальной гибридной конструкцией силовой установки – тому пример. eVTOL Hyundai начнут летать в США в 2024 году и серийно производиться к 2028-му. Аппараты разработаны для полёта с крейсерской скоростью 190 км/ч и вмещают кроме одного пилота 4 пассажиров.

Перспективы развития современных электрических систем в аэротакси

Предусматривается создание системы миллиметровой и субмиллиметровой локации, навигации, связи, пока не имеющей аналогов в мировой практике [4], [5]:

- оснащение бортовой сверхэнергоплотной силовой электроникой (IPM до 20 кВт/дм³);
- СВЧ ВИП для бортовых терагерцевых цифровых систем (с плотностью до 100 кВт/дм³) с высоким КПД;
- оснащение бортовым терагерцевым (бит/с) фотонно-фононным CPU;
- микроклимат для Li-батарей в условиях зимнего сезона;
- приборы ночного и теплового видения – днём и ночью;
- солнечная бортовая батарея с КПД от 28–30% (до 400 Вт/м²);
- мультифазные асинхронные электродвигатели, в том числе IPM-асинхронный электропривод;

- наличие (кроме ТГц-радаров) сверхмалогабаритных видео- и ИК-камер обзора местности.

Аэротакси, как «летающее крыло» с меняющимся вектором тяги электродвигателя, в том числе с вертикальным взлётом, должно обеспечивать работоспособность при температуре окружающей среды до +200°C, в перспективе – до +400°C:

- навигационная система – как спутниковая, так и маячковая;
 - аэротакси разрабатывается с проектной скоростью до 500 км/ч (на асинхронных мультифазных электродвигателях).
- Ряд проблем безопасности, с которыми столкнутся eVTOLs:
- обледенение – невысокая грузоподъёмность делает нецелесообразным размещение на борту противообледенительной жидкости;
 - электрическое замыкание в условиях повышенной влажности;
 - возгорание АКБ;
 - возможная потеря мощности силовой энергоустановки во время полёта.

Привлекательные для инвесторов и пользователей программы опираются на отсутствие сильного шума, выхлопов в окружающую среду, потребление меньшего количества энергии (относительно вертолетов с ДВС) и снижение затрат на техническое обслуживание. Внедрение автопилота – ещё один важный элемент безопасности управления полётом.

В мире насчитывают более 100 проектов, связанных с перспективным проектом Advanced Air Mobility, что говорит о заинтересованности не только инвесторов, но и государств. Так, разрешение на тестовые полеты для Volocopter выдала Саудовская Аравия: серия испытаний длилась 1,5 года и успешно завершена на северо-западе Королевства в июне 2023 года. Ведут-



Рис. 8. Вид изнутри ресторана на борту дирижабля «Гинденбург» Luftschiff Hindenburg (LZ-129)



Рис. 9. Вид на кормовой пропеллер дирижабля «Zeppelin NT» производства ФРГ

ся работы и разработки условно лёгких альтернатив тяговым аккумуляторам, которые в настоящее время составляют до 40% взлетной массы электролётов. Таковы вкратце задачи, проблемное поле и решения для нового авиаприборостроения в области радиационно-стойкой, гиперчастотной, высокотемпературной и силовой электроники.

Дирижабли на электротяге, или Половина «Гинденбурга»

Дирижабли – особый вид воздушного транспорта, способного быть как пассажирским, так и грузовым. Они использовались в военных, промышленных и коммерческих целях с первой декады XX века. Современные дирижабли наполняют условно безопасным газом, инертным гелием, а не легковоспламеняющимся водородом, как печально известный «Гинденбург», имевший длину 245 м. А инновационные технологии открывают электрическим дирижаблям новые перспективы.

Общее в дирижаблях и их различия

По общему определению, дирижабль, или управляемый аэростат, – вид воздушного судна, снабжённого силовой установкой и способного передвигаться в заданном направлении с условно значительной скоростью в большом диапазоне высот. Кроме оболочки, гондол и двигателя в конструкции классического дирижабля предусмотрена гравитационная (пассивная и активная в разных моделях) и аэродинамическая системы управления ориентацией и стабилизацией аппарата. Пассивная гравитационная стабилизация осуществляется по тангажу и кре-

ну даже при нулевой скорости полёта, если гондола (гондолы) установлена ниже (в нижней части оболочки). Таковы примеры аппаратов-анахронизмов эпохи моделей ZR-1 «Шенандоа» на причальной мачте, ZR-3 «Лос Анджелес», LZ 126 (Германия) на тросовом причале, USS Macon ZRS-5 (США) для старта с авианосца. В таких дирижаблях «мягкого» форм-фактора неизменяемость внешней формы достигалась избыточным давлением несущего газа, постоянно поддерживаемым баллонами – мягкими ёмкостями. Чем значительнее расстояние между оболочкой и гондолой, тем больше устойчивость аппарата к внешним воздействиям. Активная гравитационная стабилизация и ориентация обеспечивались горизонтальным перемещением вдоль продольной оси аппарата балластного груза [6].

Отсюда справедливо мнение, что чем жёстче конструкция дирижабля, тем лучше и безопасней управляемость летательного аппарата. Такие воздушные суда классифицируются по форме: сигарообразные с уменьшенным лобовым сопротивлением (таких большинство); эллипсоидные – в виде эллипсоида (с уменьшенным сопротивлением боковому ветру); дисковые – в виде диска; линзообразные – в виде двояковыпуклой линзы; тороидальные – в виде тора, предназначенные для использования в качестве воздушного крана или воздушного стартового стола для ракет; V-образные. Кроме того, существуют варианты обычных монгольфьеров с мотогондолой, позаимствованной от парамотора.

Другой вид классификации по заполняющему газу и типу наполнителя рабочих объёмов оболочки дирижаб-

ли: газовые дирижабли, использующие в качестве несущего газ с плотностью меньшей, чем плотность окружающего атмосферного воздуха, при равных температуре и давлении; тепловые дирижабли, использующие в качестве несущего газа нагретый воздух, плотность которого из-за этого меньше окружающего оболочку воздуха, но температура внутри оболочки значительно выше температуры атмосферного воздуха; вакуумные дирижабли, в которых оболочка вакуумирована (внутри разреженный воздух); комбинированные дирижабли, к примеру, аэростаты типа «розьер».

Дирижабли, изготавливаемые и эксплуатируемые до настоящего времени, различаются по типу оболочки: мягкие, полужёсткие, с жёстким каркасом. По типу силовой установки: с паровой машиной, с бензиновым двигателем, с электродвигателем, с дизелями, с газотурбинным двигателем. По типу двигателя: крыльевые, с воздушным винтом, с импеллером, турбореактивные и, в настоящее время, двухконтурные аппараты. По назначению: пассажирские, грузовые и специальные (в частности, военные). По способу создания архимедовой силы: наполнением оболочки газом легче воздуха, подогревом воздуха в оболочке (термодирижабли и термопланы), вакуумированием оболочки, комбинированные.

По способу управления подъёмной силой условно пассивные летательные аппараты различались системами стравливания газа и управления его нагревом, закачкой/стравливанием балластного воздуха, сжатием и закачкой газа в металлические баллоны и стравливанием подъёмного газа из металлических балло-



Рис. 10. Иллюстрация пропеллерной системы управления воздушными винтами



Рис. 11. Аэростат AU-30 производства РФ



Рис. 12. Панель управления аэростатом AU-30

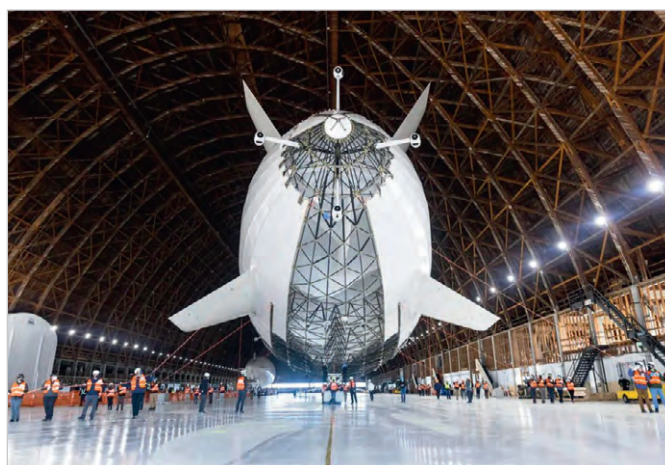


Рис. 13. Вид новейшего электродирижабля Pathfinder-1 на электротяге

нов в рабочие балонеты, изменяемому вектору тяги силовой установки, что давало аэродинамические преимущества в сравнении с воздушными шарами. Аэродинамическая стабилизация и ориентация аппарата обеспечивается по тангажу и рысканию (курсу) при помощи хвостового оперения (аэродинамических стабилизаторов и рулей) в условиях значительной скорости горизонтального полёта. При незначительной скорости полёта эффективность аэродинамических рулей в дирижаблях «прошлых поколений» признана недостаточной для обеспечения хорошей манёвренности аппарата. На дирижаблях XXI века применяется активная автоматическая система ориентации и стабилизации по трём строительным осям, где в качестве исполнительных органов системы применяются поворотные винтовые движители (в кардановом подвесе).

Тепловой дирижабль мягкой системы серийно производился в Германии

и Франции с 1910 года. Строившиеся в 1930-х годах XX века дирижабли с жёстким каркасом выглядели как гигантские воздушные корабли с дальностью беспосадочного полёта до 15 000 км, с полезной нагрузкой до 90 тонн (полный вес около 200 тонн). По сравнению с самолётами дирижабли обладают преимуществом: возможностью оставаться над определённой областью. В условиях несильных воздушных потоков (скорости ветра) они могут держаться в воздухе без затрат горючего, остановив двигатели.

На рис. 8 представлен вид изнутри ресторана на борту дирижабля «Гинденбург» Luftschiff Hindenburg (LZ-129), Speisesaal.

Новая эра экологически чистых воздушных перевозок «большегрузов»

У современных дирижаблей воздушный винт применяется в качестве рулевого винта. Для сведения, на рис. 9 показан кормовой пропеллер дирижа-

бля «Zeppelin NT» производства ФРГ. Этот аппарат эксплуатируется в Германии с 2010 года. Обратим внимание на то, как расположены винты в хвостовой части аппарата: перпендикулярно друг другу. Именно с помощью такой системы создаётся управляемый электрической тягой аналог руля высоты и горизонтального руля.

На рис. 10 представлен вид на пропеллерную систему управления воздушными винтами GR-SK.

Аналогичных аппаратов в разных странах мира несколько сотен, и их количество растёт. В России на авиасалоне «МАКС-2007» был представлен дирижабль отечественного производства, который так и хочется назвать аэростатом (рис. 11).

На рис. 12 представлен вид на панель управления AU-30.

На рис. 13 представлен вид новейшего дирижабля на электротяге Pathfinder-1.

Дирижабли занимают особую нишу в транспортной архитектуре, не явля-



Рис. 14. Вид на каркас дирижабля Pathfinder

ясь аналогами самолётов и вертолётов хотя бы из-за способа передвижения и скорости. Особенность современных дирижаблей в том, что они оснащаются силовыми установками для вертикального взлёта на электротяге, а также электродвигателями для горизонтального полёта с регулируемым углом наклона приводов винтов. К примеру, для вертикального взлёта и посадки дирижабль Pathfinder-1 оснащён 12 электродвигателями, которые питаются от дизельных генераторов и аккумуляторов. А его длина 124,5 метра. Ожидается, что дирижабль сможет развивать максимальную скорость в 120 км/ч. В испытательных полётах он будет летать медленнее. Как и другое лётное современное оборудование, рассмотренное в обзоре выше, электрический дирижабль обладает «нулевыми выбросами» углекислого газа и соответствует «высшему экологическому классу», а также вписывается в концепцию сохранения мировых экосистем [7].

8 ноября 2023 года компания LTA Research начала лётные испытания электрического дирижабля Pathfinder на аэродроме NASA Моффетт. Аппарат создан с использованием новейших технологий. Для заполнения

дирижабля гелием используются 13 больших отсеков из нейлонового материала, контролируемых с помощью лазерных электронных датчиков. Нетипичный летательный аппарат имеет жёсткий защитный каркас, обтянутый лёгким синтетическим материалом Tedlar, состоящим из 10 000 полимерных труб, армированных углеродным волокном и соединённых при помощи 3000 титановых втулок. Tedlar – материал из космической отрасли, обеспечивает и прочность, и защиту от внешних воздействий, нагрева атмосферы. Целых 12 электродвигателей с питанием от дизельных генераторов и аккумуляторов обеспечивают летательному аппарату вертикальный взлет и посадку. На рис. 14 представлен вид на каркас дирижабля Pathfinder.

Особенности электрического дирижабля Pathfinder-1

Несмотря на то что Pathfinder, оснащённый жёстким типом каркаса, инновационными электронными системами навигации и управления электродвигателями, создан с амбициозной целью представить альтернативу традиционным средствам транспорта, газ находится внутри каркаса в балло-

нах из газонепроницаемой материи. Наполняемость (суммарный объём баллонов) – 28 300 м³ гелия, который находится в прочной полимерной оболочке, не боящейся воздействия солнца, высоких и низких температур, что даёт новые возможности применения вместительного летательного аппарата в разных широтах с различными температурными условиями окружающей среды. В начале сентября 2023 года Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) выдало Pathfinder-1 специальный сертификат лётной годности. Сертификат разрешает проведение испытательных полётов в районе Моффетт-Филд и аэропорта Пало-Альто над южной частью залива Сан-Франциско. Первые 50 полётов позволят дирижаблю подниматься до максимальной высоты 460 м. Экспериментальный сертификат FAA для Pathfinder действителен до сентября 2024 года [7]. Pathfinder-1 способен перевозить 4 тонны груза, помимо экипажа, водяного балласта и топлива. Во время полётов 2 пилота находятся на борту для обеспечения максимальной безопасности управления и испытаний, хотя дирижабль может управляться одним человеком благодаря автоматизации.

Перспективы развития электродирижаблей

Дирижабли с «нулевыми» выбросами углекислого газа в ближайшем будущем займут важное место в транспортной системе, в том числе для оперативной доставки гуманитарной помощи, особенно в случае стихийных бедствий, таких как землетрясения и ураганы. В то же время грузовым дирижаблям необходима ещё большая грузоподъёмность. Новейшие разработки реализуются с использованием технологий с нулевыми выбросами углерода, таких как водородные топливные элементы. В отличие от современных, крупные классические дирижабли XX века не были приспособлены к посадке на необорудованную площадку, и в этом смысле вертолёт в сравнении с дирижаблем имел преимущества. Ранее эксплуатационные ограничения были обусловлены несоизмеримостью управляющих воздействий и ветровых возмущений из-за недостаточной манёвренности. В третьем десятилетии XXI века дирижабль с электрическими силовыми установками способен взлетать и при-

земляться в автоматическом режиме вертикально, что улучшает его ТТХ в сравнении с ранними моделями. По сути, мы имеем дело с медленным вертолётном, но с улучшенными системой безопасности и навигации, вместимостью, тоннажем (грузоподъёмностью) и в целом – с лучшей управляемостью. Отдельное направление развития технической мысли – беспилотные электрические дирижабли с дистанционным контролем управления и несколькими дублирующими (для безопасности) системами автоматического управления, взлёта и посадки. Это даёт возможность их использования даже на ограниченном пространстве и в крупных населённых конгломерациях. Так, в соответствии с долгосрочными планами по созданию семейства дирижаблей, компания LTA разрабатывает более крупный дирижабль Pathfinder-3. Технологией создания современных дирижаблей и новыми материалами интересуются такие компании, как Google и Amazon. Дирижабли на электрической тяге с подзарядкой от возобновляемых источников энергии, ветра и солнца – новая веха в истории воздушной техники. Разме-

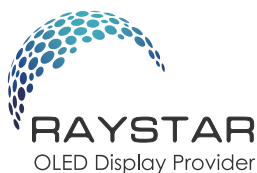
ры, грузоподъёмность и мощные электрические двигатели делают аппараты уникальными в сравнении с другими воздушными судами с силовыми электрическими установками и открывают новые горизонты возможностей в области специального транспортного (военного) применения, туристических путешествий и коммерции.

В ближайшем будущем произойдёт революция в авиации, аналогичная той, которая случилась с пассажирскими лифтами и мобильными телефонами. Мировой рынок потребует сотни тысяч летательных аппаратов. Важно быть готовыми к растущему спросу на этот тип транспорта.

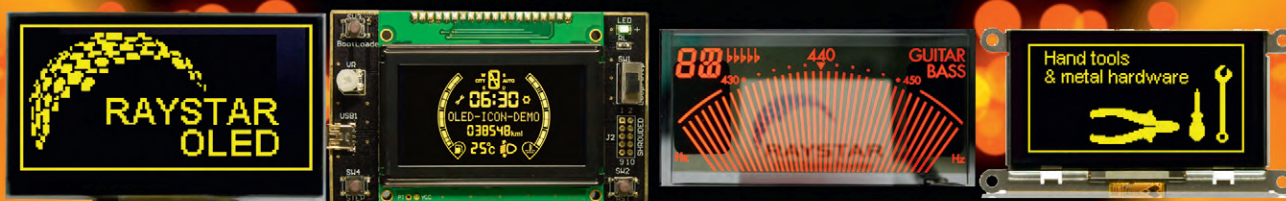
Литература

1. Harris M. EXCLUSIVE: Google Founder's Airship Gets FAA Clearance Sergey Brin's Pathfinder 1 can now take to the skies // URL: <https://spectrum.ieee.org/lta-airship-faa-clearance>.
2. Electric Air Mobility has Landed vertically // URL: <https://www.archer.com/midnight>.
3. Аэротакси // URL: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/764780/>.
4. Бекмачев А. Летать? Легко! Датчики КТП для беспилотников // URL: [soel.ru/online/letat-legko-datchiki-ktp-dlya-bespilotnikov/.](https://www.
</div>
<div data-bbox=)

5. Гордеев А. Техника России ближайших лет: «вечно летающие» дроны, кубсаты, мини-спутники на основе «параллельной» электроники // Современная электроника. 2023. № 5. URL: <https://www.soel.ru/online/tekhnika-rossii-blizhayshikh-let-vechno-letayushchie-drony-kubsaty-mini-sputniki-na-osnove-paralleln/>.
6. Смирнова Е. Начались лётные испытания 124-метрового электрического дирижабля Pathfinder-1 // URL: <https://hightech.plus/2023/11/09/nachalis-pervie-letnie-ispitaniya-124-metrovogo-elektricheskogo-dirizhablya-pathfinder-1>.
7. Новинка от Сергея Брина: дирижабль Pathfinder-1 для гуманитарных миссий готов к лётным испытаниям // URL: <https://www.ixbt.com/news/2023/10/28/novinka-ot-sergeja-brina-dirizhabl-pathfinder-1-dlja-gumanitarnyh-missij-gotov-k-ljotnym-ispitaniyam.html>.
8. Сайт аэрокомпании Аора // URL: <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2023/april/pilot/job-y-s4-coming-to-you-in-2025>.



OLED-дисплеи Raystar



Специальное исполнение 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

ProCHIP
POWERED BY ProSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



Реклама

Особенности функционала и условия применения РЭА специального назначения для экстремальных ситуаций

Антти Эс

Среди разных сегментов современной РЭА отдельно позиционируются электронные устройства специального назначения с генератором – преобразователем высокого напряжения, своим примером демонстрирующие широкие возможности электроники для экстремальных ситуаций. В статье рассматриваются особенности, характеристики, пример построения электрических схем, условия и основания применения, разновидности контактных и дистанционных устройств, воздействующих на человека и животных для обеспечения безопасности и пресечения агрессивных действий.

От общего к частному

Среди элементов современной электроники отдельным сегментом располагаются компактные электронные модули – преобразователи напряжения. Обозначение «Boost Step-Up Power Module High-Voltage Generator» соответствует и их функционалу. Многие собраны по однотипным схемам генератора импульсов, при этом источник

питания имеет напряжение 3,6–8 В, а на выходе обеспечивает до 40 кВ. На рис. 1 представлено изображение одного из таких модулей.

Ток на выходе крайне мал (при условно значительном токе потребления от источника питания до 2 А), и тем не менее устройства применяются для решения некоторых бытовых и специальных задач. Типовая схема устройства – для иллюстрации принципа схемотехники – представлена на рис. 2.

В качестве задающего генератора могут применяться разные микросхемы, равно как и элементы ключевых транзисторов. Специалистов интересуют не сами модули, а связанные с ними широкие возможности применения устройств. Когда электроды на выходе электронного устройства разнесены на несколько миллиметров, между ними возникает электрический разряд. При разнесении на несколько

сантиметров возникает эффект ионизации воздуха, реализованный также в бытовых и специальных электронных устройствах, к примеру, в медицинской технике для обеззараживания воздуха. Причём и озон (сверх меры) тоже может быть вреден для человека [2]. Озонаторы в промышленных целях предназначены для дезинфекции воздуха разного типа помещений объёмом до 200 м³ лечебно-профилактических учреждений различного профиля с производительностью от 1 до 40 г/ч. На рис. 3 представлен бытовой ионизатор воздуха для помещения площадью до 20 м².

Это устройство приведено в пример как условно лучшее в своём бюджетном классе. На рис. 4 представлен промышленный медицинский озонатор модели MILLDOM M600.

Устройство обеспечивает режимы дезинфекции, дезодорации воздуха и даже уничтожение плесени (бактерицидные излучатели) и рециркуляторы. К примеру, в санитарной комнате площадью 30 м² в режиме рециркуляции озона всего 1 г/ч плесневого грибка и бактерий удаляются полностью, что подтверждается результатами проб и посевов воздуха до и после озонирования в значениях КОЕ/м³ [3]. Озонатор Millldom M900 является новым поколением некогда популярной модели M700. Подобные устройства сконструированы и работают по одному прин-



Рис. 1. Внешний вид модуля преобразователя напряжения производства КНП

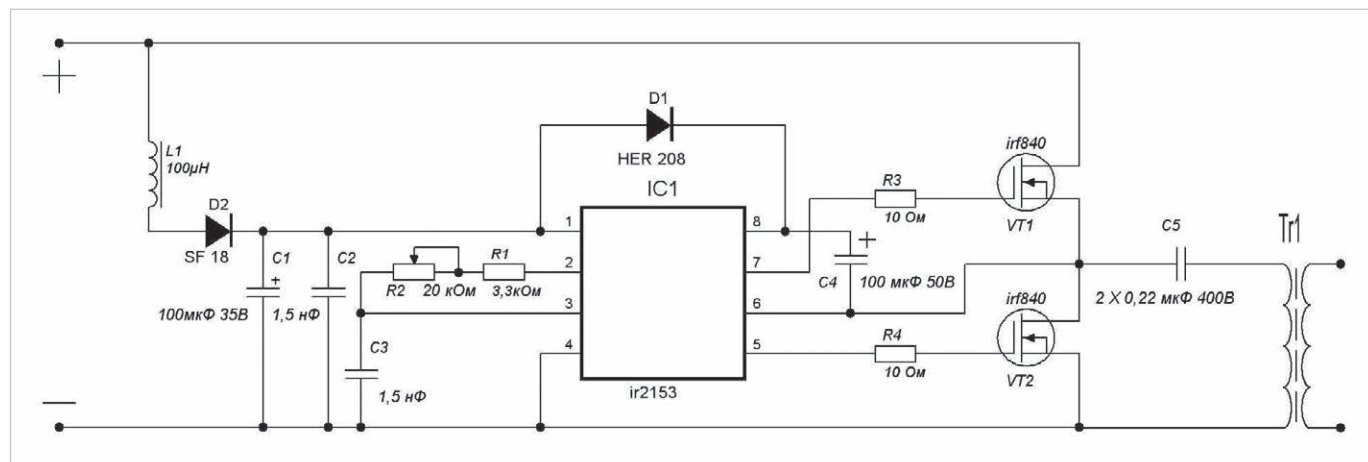


Рис. 2. Типовая электрическая схема генератора – преобразователя напряжения с высоковольтным выходом

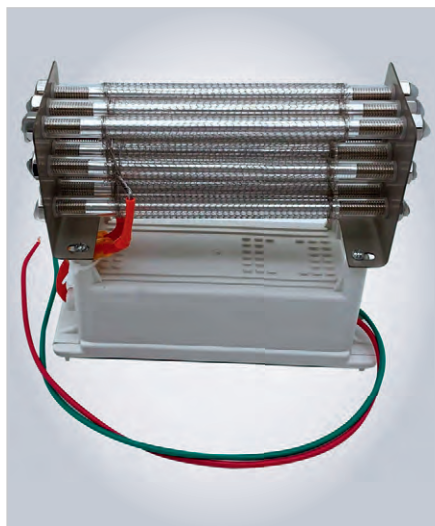


Рис. 3. Внешний вид бытового ионизатора воздуха для помещения

ципу. Условно по тому же основному принципу преобразования энергии функционируют и другие электронные устройства специального назначения, которые рассмотрим далее.

Устройства специального назначения

Служебные электрошоковые устройства (ЭШУ), прошедшие государственную сертификацию, подходят там, где применение огнестрельного оружия или иных специальных средств невозможно или нецелесообразно. Сотрудники специальных служб экипированы лучше, нежели рядовые граждане, так как первые, согласно закону, призваны выполнять специальные задачи. Среди средств, принятых на вооружение МВД России, есть и электронные устройства специального назначения, о которых поговорим ниже. Причём в технических характеристиках и сопроводительных документах ЭШУ, принятые на вооружение полиции, позиционируются как боевые специальные средства. И приобрести их, по крайней мере в России, можно лишь по служебному удостоверению сотрудника органов внутренних дел. Относительно недавно Государственная Дума РФ приняла закон, разрешающий приобретение, ношение и использование боевых специальных средств – электрошокеров также и сотрудникам транспортной безопасности, которые в России работают в своём качестве 3–4 года, ранее структуры просто не было. А есть зато ведомственная охрана на объектах транспорта (воздушного, автомобильного, железнодорожного, речного и морского), сотрудникам которой



Рис. 4. Профессиональный озонатор – ионизатор воздуха MILLDOM M600 для медицинских учреждений

после прохождения обучения и аттестации разрешается применение боевых ЭШУ. Эти структуры в основном пользуются моделями, принятыми на вооружении правоохранителей. Подробнее об этом в [5].

Среди служебных электронных устройств специального назначения особое место остаётся за стационарными системами безопасности, созданными на основе РЭА. Один из заслуживающих внимания примеров – стационарное дистанционное электрошоковое устройство для предотвращения проникновения нарушителей в охраняемые зоны. Устройство, представленное на рис. 5, мгновенно устанавливает перед нарушителем труднопреодолимое электризуемое заграждение. В основе устройства несколько генераторов высокого напряжения и контроллер, связанный с обнаружением «оппонента» с регулируемой зоной чувствительности. Комплекс хорошо зарекомендовал себя в охранных системах безопасности, совмещённых с устройствами контроля доступа и охраны значительных ценностей (банковская сфера, музейные активы, помещения «секретных частей», боевые посты, оружейные комнаты и др.).

Скрытая установка устройства не позволяет потенциальному нарушителю заранее принять меры по преодолению заграждения и обеспечивает неожиданность воздействия. Подробные ТТХ можно посмотреть в [5].

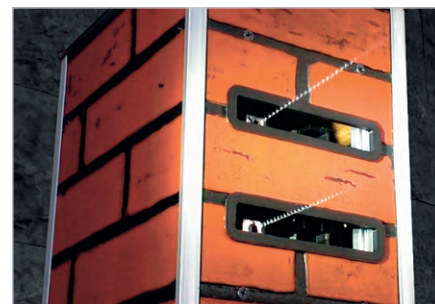


Рис. 5. Электронный комплекс нелетального поражения «Электробарьер»

Профессиональные и гражданские средства. В чём разница?

Поговорим о различиях в подходах и технологии. Полемика о том, какие модели ЭШУ лучше или мощнее, бессмысленна, поскольку надо предметно сравнивать не только технические характеристики, доступные в том числе открыто в сети Интернет, но и ситуации возможного применения спецсредств. При кажущейся схожести ситуации, как правило, они отличаются. Вопрос об эффективности или незаменимости того или иного спецсредства, в том числе боевого электрошокового устройства, требует уточнения. Предварительное разъяснение об актуальности темы было приведено для того, чтобы акцентировать внимание читателей именно на боевых специальных средствах, принятых на вооружение МВД, как более мощных относительно гражданских или общедоступных электронных устройств разной мощности и форм-факторов в основном китайского производства. Ибо когда говоришь о профессиональных моделях, понимаешь, что технологии изготовления максимально соблюдаются, а тому, что написано в технических характеристиках лицензированного производителя «с именем», можно верить, чего не скажешь о сомнительных китайских устройствах «для всех», где информацию о мощности устройств, долговечности рекомендуется воспринимать условно. Складывается впечатление, что полицейские модели просто более мощные и продвинутые. Отчасти так, в зависимости от моделей, но не всегда. Основное отличие не в мощности, а в надёжности изготовления: корпус специальных устройств особого назначения, как правило, неразборный, неремонтопригодный, запаянный, имеет гарантированный срок эксплуатации, после



Рис. 6. Внешний вид ЭШУ-200

которого устройство попросту списывается в утиль.

Примеры практических устройств

На рис. 6 представлен вид модели ЭШУ-200, которая стоит на вооружении подразделений правоохранительных органов России и сегодня, производства НПО «Специальные материалы».

В таком виде модель ЭШУ-200 выпускалась с первых лет после своей разработки в 1997 году и по настоящее время; корпус и технология не претерпели изменений. К примеру, ЭШУ-200 разработано ещё 25 лет назад, а первые партии поставлены в подразделения в 1997 году. При этом практически не претерпевало конструктивных усовершенствований. До 2013 года устройство комплектовали АКБ, состоящей из 6 Ni-Mn элементов типоразмера AAA с номинальным напряжением 1,2 В каждый, соединённых последовательно. Этот тип АКБ считается анахронизмом эпохи. Таким образом, суммарное напряжение АКБ в заряженном и исправном состоянии составляет 7,2 В. Срок службы, определённый производителем, составляет 2 года. Однако практика вносит свои коррективы. Уже после первого года регулярных зарядок и применения АКБ значительно теряет ёмкость, что предполагает и более частую, относительно рекомендованной, зарядку устройства (при условии не использования в штатном режиме: отсутствия фактического применения на смене и не нажатия кнопки «пуск»). Есть и техническая проблема: неразборный корпус не допускает санкционированного вмешательства в конструкцию для замены АКБ. За много лет производитель изменил в данной модели только АКБ, теперь она имеет энергоёмкость 1400 мА/ч против 600 мА/ч на заре массового производства.

Существует мнение, что технические характеристики полицейских моделей

выше соответствующих параметров ЭШУ, доступных на гражданском рынке. Мощность и тех, и других специализированных электронных устройств при свежих и вполне заряженных АКБ находится в пределах 3 Вт (то, что заявляется как «8–10 Вт при модифицированном напряжении импульса 110 000–120 000 В в месте разрядника» в сопроводительных документах несертифицированной китайской продукции, надо делить на 100). Поэтому вовсе не обязательно, что гражданские (общедоступные) ЭШУ условно хуже. Имеет значение, по каким критериям сравнивать, что «замерять» метрологическими инструментами. Надо понимать и конкретику ситуаций использования, ибо долговечность АКБ во многом зависит от соблюдения рекомендованного режима разряда-заряда. Специального же устройства – разрядника для АКБ производителем не предусмотрено. Вот и получается, что заряжают устройство – на всякий случай – почти ежедневно, не заботясь о том, нужна ли ему подзарядка или нет. Разумеется, решение вопроса с надёжностью и долговечностью эксплуатации зависит от типа применяемого автономного источника питания – аккумулятора. Эти и другие факторы значительно сокращают срок службы профессиональных электронных устройств специального назначения. Вот и получается, что гражданские и профессиональные модели ведут себя в целом одинаково. Разница предполагается лишь в последствии: если общедоступное гражданское ЭШУ способно ввести человека в «шоковое» состояние на время до 5 минут, то после электроудара электронного спецсредства нарушителю понадобится в 2 раза больше времени, чтобы прийти в себя (при условии хорошего состояния аккумулятора). Главное же отличие в том, что в профессиональное электронное устройство специального назначения производителем введён контроллер с памятью. Таким образом, можно узнать, сколько раз включался активный режим непосредственно электрошока. Контроль предусмотрен именно для того, чтобы сделать работу правоохранителя подконтрольной. К профессиональному устройству по этой причине в комплекте идёт дополнительное устройство-модуль, считывающее показания наработки и активности прибора, которое подключается

штатным кабелем через разъём Mini USB на корпусе ЭШУ.

Вопросы безопасной эксплуатации

В боевом ЭШУ, наносящем минимальный травматический эффект по сравнению с огнестрельным, газовым или холодным оружием, применён микропроцессор, управляющий электрическим разрядом и одновременно фиксирующий основные параметры работы ЭШУ, которые можно контролировать с помощью мониторингового блока. Согласно временным нормам безопасности воздействия на человека электрошоковых устройств, используемых в качестве спецсредств сотрудниками ОВД и военнослужащими МВД РФ, при применении ЭШУ запрещено непрерывно воздействовать на человека более 3 секунд, чтобы не причинять необратимых последствий, в том числе медицинских травм. Повторно против одного и того же лица в течение следующих 5 минут применять ЭШУ не рекомендуется [6]. Однако, чтобы исключить человеческий фактор, разработчики специализированного оборудования предусмотрели ограничение в самой конструкции. Даже если «красная кнопка» нажата длительное время, импульсное воздействие модифицированным сигналом высокого напряжения и крайне малого тока не причинит необратимых последствий другому. Нелетальные последствия для человека, степень тяжести реакции человека на прямое воздействие обоснованы заключением экспертов, а именно не превышают уровень, установленный в соответствии с разъяснениями ФГУП «ГНЦ Институт биофизики» от 27.02.2006 № 51-41-03/250 с опорой на нормы Минздрава России [4]. Требования к электронным устройствам – оружию гражданского назначения таковы, что средняя мощность воздействия не должна превышать 3 Вт. А максимальная величина мощности воздействия допускается на уровне не более 10 Вт (при нагрузке, эквивалентной сопротивлению тела человека и условно равной 1 кОм). Также запрещено применять устройства в области рефлексогенных зон организма, таких как голова, шея, область солнечного сплетения и сердца, и против лиц, находящихся в водной среде. Опасно использовать электрошоковое оружие во взрывоопасной среде (например, на бензоколонках).

От удара током человек инстинктивно пытается отпрыгнуть. Время сокращения мышц в результате реакции на электрический импульс составляет десятки доли секунды. Поскольку при сокращении мышцы происходит потеря контакта, именно время сокращения мышцы и является продолжительностью реального контакта при использовании мощных ЭШУ. Согласно временным нормам безопасности разрешается воздействие на человека с суммарной энергией до 45 Дж. При реальном контакте энергия воздействия ЭШУ в несколько раз меньше величины, разрешённой нормативными документами и заявленной производителем. Это обстоятельство дополнительно подтверждает потенциальные возможности повышения технических характеристик электрошоковых устройств. Так, введены понятия предельно допустимого действующего тока и заряда, не причиняющих вреда здоровью и не вызывающих смертельного исхода, соответственно, обозначаемых I_d и Q_d , равных $I_d = 500$ мА, $Q_d = 50\,000$ мкКл. Анализ результатов воздействия импульсов высокого напряжения различной амплитуды и формы в предварительных исследованиях и экспериментах показал, что основным поражающим фактором является значение (величина) «количества электричества», протекающего через тело человека за время воздействия напряжения – Q . Для эффективного действия ЭШУ достаточна величина $Q = 5000$ микрокулон (мкКл), которая вызывает обездвиживание оппонента за счёт мускульных спазмов. Их продолжительность также имеет значение и является индивидуальной характеристикой конкретного человека в зависимости от разных факторов: ситуативного состояния, здоровья, возраста, опыта подобных воздействий и даже гендера. Если Q за 1 импульс (1 воздействие) превышает значение 50 000 мкКл, тогда применение специализированного электронного средства может привести к тяжёлым последствиям, вплоть до летального исхода. В качестве единой базы для сравнительных оценок введена физическая величина, позволяющая несложно определить эффективность воздействия образцов: это средний действующий ток, протекающий через тело человека или его участок, по которому определяют среднее

Таблица 1. Основные параметры безопасности некоторых служебных ЭШУ

Показатели	Нормы предельно допустимых значений	ЭШУ-200	АИР-107, АИР-107У	ЭШУ-200М
Средняя мощность воздействия на нагрузку 1 кОм, Вт	10	10	8,2±2,0	8,5
Действующее значение силы тока, мА	500	100	80	90
Условное количество электричества, протекающее за одно срабатывание, мкКл	50 000	5000	500	4500

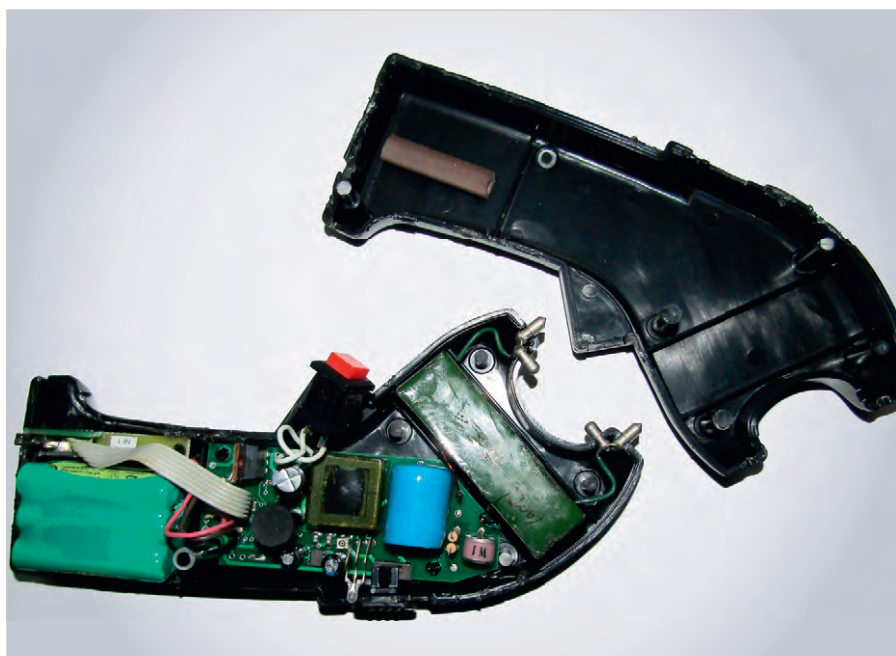


Рис. 7. Вид ЭШУ со снятой крышкой корпуса

количество электричества, воздействовавшего на человека.

Основные параметры безопасности, их пороговые и реальные значения для некоторых мощных ЭШУ приведены в табл. 1.

В связи с тем, что служебные ЭШУ обладают более высокими поражающими характеристиками по сравнению с гражданскими моделями, актуальны вопросы оценки уровня безопасности для человеческого организма при воздействии специальным электронным устройством. Основные технические характеристики боевого ЭШУ – средняя сила тока в импульсе, напряжение разряда, энергетическая доза воздействия и автоматическая отсечка времени. На рис. 7 представлен вид специального устройства со снятой крышкой корпуса.

Внимательный читатель убедится в том, что корпус не имеет ни винтов, ни иных разборных креплений, а части корпуса производитель крепит на клей и не предполагает, что устройство ста-

нут разбирать даже для замены АКБ. По сути, такое электронное устройство является неремонтопригодным, одноразовым – чтобы не было соблазна реконструировать и изменять характеристики.

На микроконтроллере ATMEGA модели ATtiny12L-4PC 8-bit AVR с внутренней памятью 1 КБ собран узел подсчёта количества нажатий (срабатываний), и там же запрограммирован серийный номер изделия. Таймер NE555 не только генерирует импульсы, но и представляет собой «реле времени» для ограничения времени работы электронного устройства в пределах 3 с. Так обеспечена функция заданного ограничения времени воздействия – ЗОВВ. Основной преобразователь напряжения нецелесообразно питать напряжением напрямую от аккумулятора, поскольку в момент активации устройство потребляет значительный ток 2,5 А при напряжении аккумулятора 4,3 В. «Поражающее» напряжение на электродах в диапа-

Таблица 2. Сравнительные тактико-технические сравнительные характеристики некоторых ЭШУ

Тип ЭШУ	Средняя сила тока в импульсе, мА	Напряжение разряда, В	Энергетическая доза воздействия, Дж	Автоматическая отсечка времени, с	Масса (не более), кг
Ласка – СУПЕР	7000	70 000	9	1	0,33
ЭШУ-200	10 000	120 000	30	3	0,35
ЭШУ-300	17 000	120 000	30	1	0,40



Рис. 8. Внешний вид АИР-107У



Рис. 9. Внешний вид «стреляющего» картриджа

зоне 1,6–1,7 кВ обеспечивается за счёт импульсного преобразователя (умножителя) напряжения, реализованного на таймере NE555, включённого по схеме однократной генерации, токового ключа на IRF3710 и высоковольтного трансформатора на ферритовом сердечнике Ш6х6, имеет первичную (40 витков ПЭЛ-0,72) и вторичную (800 витков ПЭЛ-0,1) обмотки. В схеме также применён накопительный конденсатор (на рис. 7 синего цвета) ёмкостью 0,2 мкФ. Он обеспечивает сохранение заряда устройства (готовность к воздействию), даже если предварительным включателем (предохранителем) прервана электрическая цепь от аккумулятора к преобразователю напряжения (нормальное состояние – отключение устройства). Мониторинговый блок представляет собой малогабаритный прибор с дисплеем, отображающим следующую информацию: серийный номер, дата выпуска, время наработки и количество включений ЭШУ. Также он позволяет провести контроль заряда аккумулятора.

Производитель пока не расширил функционал сего устройства, к примеру, не ввёл в модуль (и ЭШУ) контроллер для записи не только количества нажатий кнопки активации режима, но и времени и даты такого применения. Пока для контроля применения спецсредств полагаются на установленные повсюду средства видеонаблюдения, в том числе носимые на груди видеорегистраторы. Возможно, за такой новацией будущее, чтобы упростить сбор сведений по доказательной базе, когда он необходим. Перепрограммировать данные (мониторинговый блок), записанные в памяти микропроцессора, можно только на

предприятии изготовителя при прохождении регламентного освидетельствования прибора (через 2 года после выпуска) или при выполнении ремонта. Повторное включение ЭШУ обеспечивается отпусканием кнопки «пуск» с её повторным нажатием. Одновременно в память микропроцессора записывается количество включений и суммарное время работы устройства. Есть другие модификации устройства, к примеру, ЭШУ-300 [1]. В табл. 2 представлены сравнительные характеристики некоторых ЭШУ специального назначения.

Есть семейство устройств контактного способа воздействия, а некоторые модели также приняты на вооружение специальных служб. К этому классу специальных электронных средств воздействия относятся разные модели автономных искровых разрядников (АИР) типа АИР-107. При этом АИР-107 является ЭШУ контактного действия по принципу, описанному выше, а АИР-107У – контактно-дистанционного действия (см. ниже «парализатор») и оснащается дополнительной сменной насадкой на диэлектрическую головку в передней части АИР. Конструкция насадки позволяет подсоединить одноразовый сменный картридж «Air Taser», который при активации осуществляет выбрасывание токоведущих проводников пневматическим способом на расстояние до 4,5 м, тем самым обеспечивая электрический контакт с оппонентом (правонарушителем). На рис. 8 представлен внешний вид изделия АИР-107У.

В случае отсутствия картриджа или его использования АИР-107У действует аналогично АИР-107. В конструкции АИР применены монтажные каркасы в виде диэлектрических контейнеров цилиндрической формы, последовательно соединённых друг с другом специальным монтажом. На рис. 9 представлен внешний вид «стреляющего» картриджа к АИР-107У.

В контейнерах – источник электропитания, формирователь импульсного напряжения, повышающий (высоковольтный) трансформатор. Такие электронные устройства специального назначения комплектуются сменными насадками, что позволяет реализовать и другие полезные функции оборудования:

- формировать звуковые сигналы тревоги или предупреждения;



Рис. 10. Внешний вид электронного устройства «Парализатор»

- освещать пространство перед владельцем ЭШУ;
- осуществлять до 4 выстрелов без перезарядки газовым, сигнальным или иным патроном нелетального действия.

Изделие выполнено в удобной эргономической форме с расположенными в передней части электродами и гнездами для установки сменных картриджей «Тонус».

На рис. 10 представлен внешний вид другого электронного устройства под шифром «парализатор».

Для прицеливания на корпусе изделия имеется прицельное приспособление и установлен лазерный целеуказатель, который включается по необходимости. Приведение в действие производится нажатием пусковой клавиши. Изделие оснащено предохранителем и индикацией, которые не позволяют устройству несанкционированно срабатывать. Электропитание изделия, как и всего класса подобных устройств специального назначения, происходит от неизвлекаемой аккумуляторной батареи. Она заряжается от входящего в комплект ЗУ. При работе изделия со сменными картриджами «Тонус» обратимое нелетальное воздействие на объект производится дистанционно: выстрелом вперёд электродов на расстояние до 5 метров. Конструктивные особенности обеспечивают надёжное применение специального устройства по назначению с заданной точностью и замену использованных картриджей за 5–65 с. Для удобства использования и ношения устройство укомплектовано кобурой для ношения на пояском ремне и темляком на рукоятке. Сопоставимый форм-фактор и улучшенные характе-



Рис. 11. Внешний вид автономного искрового разрядника М-140

ристики имеет автономный искровой разрядник АИР-140 (на вооружении спецслужб), внешний вид которого представлен на рис. 11.

Спецификация и особенности

При максимальном напряжении 170...2500 В устройство вырабатывает импульсы монополярной формы и даёт (за 1 импульс) энергию 42 Дж. Мощность выходного каскада 7–10 Вт. Устойчив в температурном режиме $-15...+50^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 98%. Источник питания: съёмный Li-Pol аккумулятор. Такой аккумулятор выигрывает в компактности и менее требователен относительно LiMn к режиму разряда и последующему заряду. Корпус устройства выполнен из высокопрочного пластика. Имеется возможность использования с картриджем для дистанционного воздействия на расстояние до 4,5 метров. Толщина пробиваемых электроразрядом слоёв одежды составляет до 3,5 см при контактном применении и 2,5 см при дистанционном. Средняя кучность изделия при стрельбе составляет 5–10 см между гарпунами. Обеспечивает не менее 100 полноценных разрядов (выстрелов) при полностью заряженном источнике питания. Имеет встроенный индикатор зарядки. С дополни-

тельными сведениями и технической документацией можно ознакомиться в [7]. Сопоставимые тактико-технические характеристики у электронных устройств «Гарпун» и «Ласка-Гранд».

Специальные устройства гражданского назначения

Для гражданского оборота созданы другие модели с компактными размерами и весом, к примеру, «Ласка-супер», считающееся до сего дня мощным средством гражданской самообороны. Разрешено к использованию без специального разрешения лицам не моложе 18-летнего возраста. Особенности таковы, что рассматриваемое ЭШУ можно использовать в замкнутом пространстве (пассажирский транспорт, личный автомобиль, вагон поезда, салон самолета, лифт и др.), когда недопустимо применение газового, травматического или других видов оружия. Не лишены смысла и полезны рекомендации д.т.н. М.В. Сильникова, одного из разработчиков специализированной РЭА и лауреата Государственной премии в области науки и техники, ибо тактические приёмы использования ЭШУ строятся на следующих основных правилах:

- глупо доставать и угрожать другим ЭШУ без крайней необходимости,

особенно при возможности преодолеть конфликтную ситуацию более щадящими методами;

- применение должно быть внезапным, чтобы не дать оппоненту возможность мобилизоваться и психологически подготовиться к удару электрическим током малой силы и большого напряжения;
- при использовании ЭШУ первоначально рука должна быть полусогнута в локтевом суставе, чтобы, разгибая руку, продлить время и плотность контакта электродов ЭШУ с телом злоумышленника;
- не следует недооценивать противника и переоценивать возможности РЭА специального назначения. Будьте готовы к неожиданностям, эмоциональному, психическому возбуждению, алкогольному или наркотическому опьянению, а также индивидуальным особенностям конкретного человека: всё это существенно влияет на возможности и результат воздействия ЭШУ.

Тактические приёмы использования должны учитывать особенности реакции человека при контакте с электрическим током. В любой ситуации при использовании ЭШУ необходимо максимально продлить время контакта устройства с нарушителем (не более 3 с). Глупо угрожать электрошокером человеку, поскольку это «аргумент» внезапного воздействия, но РЭА специального назначения на рассматриваемых примерах, реализуемая без ограничений, может помочь против агрессивных животных, большинство из которых пугается разряда импульса (собаки, волки и др.). Воздействие импульсом ЭШУ даже гражданского назначения на домашних питомцев может привести к необратимым последствиям (кошка и птица погибнут), в том числе поэтому такого типа устройства считаются специальными и рекомендованы к хранению вне доступа детей и неадекватных взрослых.

Технические проблемы хранения, надёжности и их решения

Чтобы электронное устройство с автономным питанием было в готовности и критически не теряло заявленных производителем свойств и характеристик для выполнения задач, необходимо учесть, что устройства, даже боевые электрошоковые (исключённые из свободной продажи), не являются сверхнадёжными. Условно говоря, для работы в космосе не подходят и военной приёмкой не контролируются. По сути, подпадают под требования к РЭА бытового назначения и комплектуются соответственно. Необходимо проверять работоспособность ЭШУ после сильных ударов по корпусу изделия и в других подобных ситуациях. Встроенный аккумулятор устройства является наиболее критичным элементом конструкции по причине потери ёмкости в условиях среды (воздействие отрицательных температур, холода и др.) и с течением времени. Поскольку рассматриваемые электронные средства гражданской обороны не применяются ежедневно и в активном режиме используются крайне редко, то за работоспособностью аккумулятора необходим регулярный контроль. Один из элементов контроля, часто содержащийся в различных регламентах по уходу, состоит в том, чтобы заряжать ЭШУ и пользоваться им (вхолостую), производить разряды в воздух хотя бы 1 раз в течение месяца. Так можно сохранять специальное устройство в условной готовности на протяжении длительного времени. Для замены оригинальной АКБ (рис. 7) применяют (апробировано автором) 2 последовательно соединённых аккумулятора типа 16340 производства КНР с номинальным напряжением 3,7 В каждый.

Выводы

Электронные устройства специального назначения имеют единый «типичный» принцип работы, основанный на преобразовании напряжения до высоких значений. Отчасти поэтому устройства, изобретённые 20–30 лет назад, до сих пор выпускаются, хоть и с модификациями и новинками элементной базы, особенное значение в которой принадлежит аккумуляторам: их долговечности, надёжности и устойчивости в условиях разных температур, а также сохранению энергоёмкости в течение длительного времени и не критичности к состояниям разряда. Мы также показали важность и востребованность ЭШУ для гражданского пользования, что может быть актуально сегодня как для личной безопасности, обеспечения безопасности семьи, так и в условиях кризисных: для обеспечения безопасности при массовых беспорядках. Другое направление совершенствования рассмотренных устройств – условно поражающая способность при преодолении защитных материалов (одежды, специальных тканей и составов). К примеру, если контакт минимальный и непродолжительный, особенно когда воздействие происходит не по отношению к открытым участкам тела, а через одежду, подчас плотную, фактически не удаётся в достаточной мере использовать преимущества РЭА специального назначения. Третье перспективное направление развития электронной техники специального назначения соответствует вызовам времени: появляются и совершенствуются устройства для стационарного монтажа, некритичные к источникам питания из-за возможностей неограниченного расположения АКБ и поддержания их в состоянии постоянной готовности за счёт стабильной электросети. Кроме того, новейшие стационарные устройства могут управляться дистанционно: с помощью коммутационных узлов датчиков движения и в том числе по интернет-каналам. Всё это даёт представление о том, что электронные устройства специального назначения для обеспечения личной и коллективной безопасности, а также для нейтрализации агрессивных лиц и животных, разрабатываются и сегодня в соответствии с предполагаемыми вызовами времени. Главное, чтобы этот тренд сохранялся, так как вызовы изменчивы и подчас непредсказуемы.

Литература

1. Боевое электрошоковое устройство ЭШУ-300 // URL: <http://siberia-sm.ru/katalog/eshu-300>.
2. Вред озона // URL: www.pro-medica.ru/khimicheskie-veshchestva/864-ozon-vrednoe-vozdjestvie-na-cheloveka.
3. Выживаемость микроорганизмов в помещениях ЛПУ // URL: <https://rios.su/medicina>.
4. Нормы Министерства здравоохранения и социального развития России по ГОСТ Р 50940-96 (Приложение 2) // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200026003>.
5. Специальные материалы // URL: <https://npo-sm.ru/produkcija/specialnye-sredstva>.
6. Служебные ЭШУ // URL: <https://www.liveinternet.ru/community/3629085/post141822121/>.
7. Характеристики АИР М-140 // URL: <https://marchgroup.ru/products/power/elektroshoker-air-m-140-isp-p.html>.



НОВОСТИ МИРА

Северная Корея может уничтожить мировой рынок флеш-памяти

Разделение Кореи на Северную и Южную, случившееся почти 80 лет назад, в обозримом будущем может уничтожить глобальный рынок памяти. Южная Корея производит половину мировых объёмов флеш-памяти и три четверти чипов оперативной памяти, а Северная Корея постоянно усиливает давление на своего южного соседа и провоцирует его, постоянно испытывая различное вооружение, в том числе и рядом с границей двух стран.

Северная Корея готовится к точечным изменениям своей конституции, определяющим Южную Корею как ее главного врага. Это может крайне негативно отразиться на мировом рынке оперативной и флеш-памяти, пишет портал Tom's Hardware, поскольку Южная Корея является основным мировым поставщиком чипов памяти благодаря компании SK Hynix.

По информации Associated Press, Северная Корея дала понять, что намерена разорвать свои многолетние конституционные обязательства по мирному сосуществованию с Южной Кореей. Также власти этой страны заявили, что без колебаний «уничтожат» Юг, если её спровоцируют. Нарастание воинственной риторики происходит по мере того, как коммунистическая страна более тесно сотрудничает с Россией и Китаем, а Южная Корея улучшает отношения с США и принимает участие в американских военных учениях.

В настоящее время Южная Корея выпускает 51% мирового объёма флеш-памяти, которая используется едва ли не во всей современной технике. Это и смартфоны, и планшеты, и телевизоры, и даже ноутбуки с настольными ПК, в которых вместо жёсткого диска установлен SSD-накопитель.

На рынке оперативной памяти Южная Корея и вовсе почти является монополистом. На нём она удерживает 73-процентную долю. Эксперты Tom's Hardware пишут, что зависимость мира от Южной Кореи в плане поставок чипов памяти вызывает серьёзную обеспокоенность после того, как лидер Северной Кореи Ким Чен Ын (Kim Jong Un) заявил, что его страна больше не будет стремиться к мирному примирению.

Если есть предположение, что Корейский полуостров может оказаться на грани войны, стоит рассмотреть другие заявления Ким Чен Ына. Например, он открыто сказал, что Северная Корея не будет начинать войну в одностороннем порядке. Впрочем, нельзя исключать вероятность того, что риторика лидера Северной Кореи может измениться на прямо противоположную. 22 июня 1941 г. тоже случилось после подписания пакта о ненападении.

Возвращаясь к теме чипов памяти, отметим, что несколько дней назад правительство Южной Кореи озвучило свои планы по развитию полупроводниковой отрасли страны до 2047 г. За оставшиеся два с половиной десятилетия государство намерено вложить 622 трлн корейских вон (около \$471 млрд) в строительство 13 новых заводов по производству микросхем на территории страны в дополнение к уже имеющимся 21.

Помимо этого, в стране появятся три новых центра исследований и разработок. Основными бенефициарами новых фабрик и центров R&D станут крупнейшие в стране производители памяти, включая Samsung и SK Hynix.

Появление на одном полуострове двух совершенно разных по всем параметрам стран с очень похожими названиями – это одно из следствий Второй мировой войны. Корея разделилась на Северную и Южную в 1948 г., после чего обе страны стали придерживаться совершенно противоположных векторов развития. К чему это их привело спустя 76 лет, всем известно.

Этот раскол, к слову, уже не в первый раз негативно влияет на мировой рынок памяти. В прошлый раз, летом 2019 г., не обошлось без участия ещё одной азиатской страны – Японии.

Цены на память тогда всего за неделю поднялись на 15%, и аналитики прогнозировали ещё более стремительный их рост. К слову, прогнозы сбылись, но уже из-за коронавируса.

В октябре 2018 г. между Японией и Южной Кореей разразился скандал: Верховный суд Южной Кореи вынес постановление, обязывающее японскую компанию Nippon Steel выплачивать южнокорейцам компенсацию за принудительный труд в период Второй мировой войны (в те годы Корея всё ещё числилась единым государством). Японская сторона с решением суда не согласилась, назвав его «немыс-

лимым» и сославшись на то, что этот вопрос страны решили более полувека назад, и на то, что в период войны никакой Южной Кореи не существовало. Действительно, проблему принудительного труда во время Второй мировой войны Южная Корея и Япония решили в 1965 г., когда между ними были налажены дипломатические связи.

Ответив на выпад Южной Кореи, в середине 2019 г. Япония ужесточила ограничения на экспорт высокотехнологичных материалов в Южную Корею. В перечне материалов, попавших под ограничение, оказались фторированный полиимид (используется в дисплеях смартфонов и планшетов), а также фоторезист и фтористый водород, применяемый для травления в полупроводниковом производстве, так необходимые Samsung и SK Hynix.

Это был сильный удар по Южной Корее, поскольку Япония на тот момент выпускала 90% мирового объёма фоторезиста и фторированного полиимида, а также 70% фтороводорода.

russianelectronics.ru

Intel опередила Samsung и вернула себе лидерство на рынке полупроводников

Компания Intel неожиданно вернула себе звание крупнейшего производителя полупроводниковой продукции по итогам 2023 года.

Со ссылкой на данные аналитиков Gartner, ресурс WCCF Tech сообщает, что по итогам прошлого года выручка Intel от полупроводникового направления составила 48,7 млрд долларов, что намного больше, чем у Samsung с её 39,9 млрд.

Тут же стоит оговорить, что отчёт аналитиков касается компаний, которые разрабатывают микросхемы и затем производят их либо на своих мощностях, либо у контрактных производителей. Поэтому в этом рейтинге нет TSMC, так как эта компания только производит чипы по чужим заказам.

Поэтому на третьем месте разместилась Qualcomm с выручкой 29 млрд долларов, а Nvidia заработала примерно 24 млрд. При этом для Nvidia это первый раз, когда компания вошла в пятёрку лидеров рынка. Всё благодаря ажиотажу вокруг ИИ и огромному спросу на соответствующие ускорители Nvidia.

ixbt.com

Усовершенствованный НЧ-генератор синусоидальных сигналов на базе DDS AD9833, микроконтроллера EFM8SB10 и 0,91" дисплея OLED-1306 с батарейным питанием

Файл разводки печатной платы и программа для МК доступны для скачивания по ссылке



Алексей Кузьминов

В статье описан генератор синусоидальных сигналов на основе малопотребляющих микросхем: прямого цифрового синтеза (DDS) AD9833B, микроконтроллера (МК) EFM8SB10, инструментального усилителя (ИУ) AD8231 и ОУ ОРА333, с «нулевым» смещением (zero drift) каждый, стабилизаторов TPS78230 (3 В), STLQ15M15R (1,5 В) и 0,91" дисплея OLED-1306 с разрешением 128×32 пиксела. Источником питания служит аккумулятор 18650-HG2 ёмкостью 3 А·ч, обеспечивающий непрерывную работу прибора до 180 часов без подзарядки. Диапазон частот генератора от 1 Гц до 100 кГц с амплитудой до 0,3 В и до 50 кГц с амплитудой до 1,4 В с дискретностью выбора частоты 1 Гц. Приведены принципиальные схемы, разводка платы и конструкция прибора, его программные средства, порядок работы с ним и результаты его работы.

Введение

Подобный генератор, описанный автором в статье [1], показал хорошую работу, однако основным его недостатком является использование достаточно старого LCD Nokia-5110, требующего довольно интенсивного освещения, поскольку он работает на отражённом свете. При слабом же освещении разобрать символы на нём весьма проблематично. Применение дисплея OLED-1306, в котором каждый пиксел представляет собой органический светодиод и сам светится, полностью снимает эту проблему, поскольку освещения для этого дисплея вообще не требуется, и он может работать даже в полной темноте. Помимо этого, более высокое разрешение этого дисплея (128×32 против 84×48 в Nokia-5110) позволяет считывать информацию с него более комфортно.

Кроме того, в настоящей разработке сделаны несколько усовершенствований, которые позволили существенно уменьшить размер корпуса прибора с 75×75×30 мм в [1] до 70×45×30 мм, или, другими словами, он стал почти в 1,5 раза компактнее, или миниатюрнее.

Эти усовершенствования заключаются в следующем.

Во-первых, использование кварцевого резонатора в корпусе HC49S3 размером в 3,7 раза меньше корпуса HC49U, применённого в [1], DDS AD9833B в корпусе MSOP10 вместо корпуса LFCSP10 у AD9837, у которого снизу расположена «земляная» пластина, позволили существенно упростить разводку платы, в результате чего она стала более компактной (20×36 мм против 22×40 мм в [1]). Во-вторых, использование миниатюрных тактовых кнопок TC-021, которые в несколько раз меньше кнопок DS-612, применённых в [1], позволило существенно снизить размер корпуса прибора. В-третьих, более миниатюрный корпус дисплея OLED-1306 по сравнению с корпусом LCD Nokia-5110, применённого в [1], также способствовал снижению размера корпуса прибора.

Применение дисплея OLED-1306 немного увеличило ток потребления устройства, вместе с тем использование кварцевого резонатора частотой 8 388 608 Гц (против 16 777 216 Гц в [1]), т.е. в 2 раза ниже, уменьшило ток потребления МК и ИУ (см. далее),

в результате чего время работы прибора без подзарядки уменьшилось до 180 часов против 200 часов в [1], однако этот факт не является определяющим, поскольку на дисплей выводится состояние зарядки аккумулятора, и его всегда можно подзарядить от зарядного устройства. Кстати, в статье приведено описание более компактного зарядного устройства.

В настоящей статье несколько меньше внимания уделено программным средствам, поскольку они подробно описаны в [1], зато более подробно описаны результаты работы прибора. В частности, приведены осциллограммы и спектры сигналов, снятые цифровым осциллографом, на основании которых делается вывод об их синусоидальности.

Дальнейшее изложение построено следующим образом. Вначале приведены принципиальные схемы печатной платы и дополнительных устройств прибора, затем – программные средства для него, далее рассмотрены разводка и внешний вид его платы. После этого рассказано о настройке и конструкции прибора, порядке работе с ним и, наконец, показаны результаты его работы.

Принципиальные схемы

Основой схемы платы генератора (рис. 1) является сверхнизкопотребляющий МК EFM8SB10-QFN20 (DD1) в корпусе для поверхностного монтажа QFN20 размером 3×3 мм. Конденсатор С8 блокировочный и положен по штату работы МК. Сопряжение МК с DDS и дисплеем OLED-1306 организовано по однонаправленному интерфейсу SPI, или, другими словами, в эти устройства только передаётся (но не принимается от них) информация с помощью сигналов SCK и MOSI, а также сигналами

лов выбора кристалла (CS). Для DDS AD9833B (DD2) используется сигнал CSAD, а для дисплея CSD. Для тактирования DDS используется системный тактовый сигнал МК SYS_CLK частотой 8 388 608 Гц, который также подаётся на разъём X4, предназначенный для подключения к частотомеру и служащий для точной настройки частоты. Конденсаторы C6–C9 положены по типовой обвязке DD2. Помимо сигналов интерфейса SPI, в дисплей передаются сигналы D/C и RES. Все дисплейные сигналы вместе с питанием и «землём» выведены на разъём X8, к которому кабелем подключается плата дисплея ответным разъёмом X8' (рис. 2г). Кварцевый резонатор Z1 частотой 8 388 608 Гц вместе с резистором R4 и конденсаторами C3–C5 и C3', C5', подбираемыми при настройке (см. далее), подключается к выводам XT1 и XT2 МК.

Для устранения дребезга контактов кнопок используется специализированная микросхема MAX6817 (DD3). Сигналы (с дребезгом) непосредственно от кнопок КН1 и КН2 подключаются к его входам, а очищенные от дребезга выходные сигналы K1 и K2 подключаются к соответствующим выводам МК. Блокировочный конденсатор C13 положен по штату работы DD3. Сами сигналы от кнопок (и «земля») поступают на плату с разъёма X3, к которому ответным разъёмом X3' (рис. 2б) подключается кабель, второй конец которого соединён непосредственно с миниатюрными тактовыми кнопками TC-0121 – КН1 и КН2. При нажатии и отпускании кнопок слышен характерный щелчок, а пальцем воспринимается существенно заметная тактильная отдача.

RC-цепочка R8, R9, C12 предназначена как для штатной работы МК (она затягивает низкое состояние сигнала RST на время заряда конденсатора C12, требующееся при включении питания и формирующее сброс (RESET) МК – Power On Reset – POR), так и для программирования МК по интерфейсу C2 (резистор R9 позволяет легко управлять сигналом RST от этого интерфейса). Сигналы интерфейса C2 (C2D, RST) и «земля» выведены на разъём X1, к которому ответным разъёмом подключается кабель, второй конец которого соединён с соответствующим разъёмом USB DEBUG адаптера, который, в свою очередь, подключается к одному из разъёмов

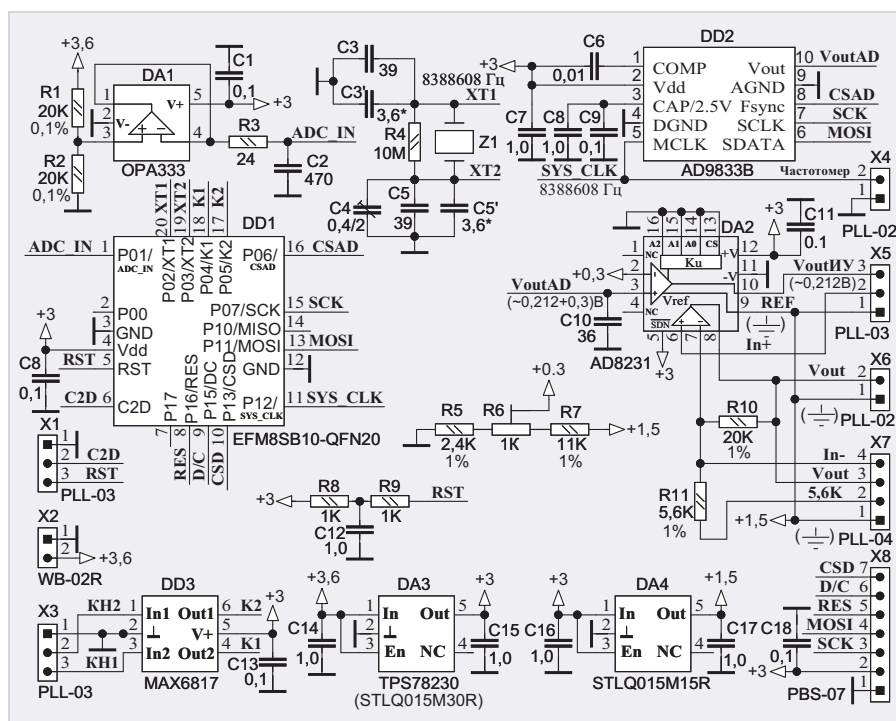


Рис. 1. Схема платы прибора

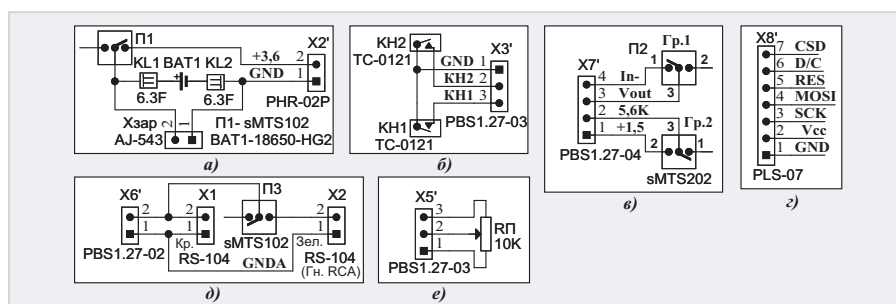


Рис. 2. Схема дополнительных устройств прибора

USB компьютера. Схема подключения подробно описана в [2].

Напряжение питания (3,6 В) поступает на плату с разъёма X2. Это напряжение подаётся на вход микромощного стабилизатора TPS78230 (DA3), выходное стабилизированное напряжение которого (3 В) используется для питания всех микросхем платы. Микромощный стабилизатор STLQ15M15R (DA4) из входного напряжения 3 В формирует выходное напряжение 1,5 В, которое используется как опорное (V_{REF}) для ИУ AD8231 (DA2). Блокировочные конденсаторы C14–C17 положены по штату работы стабилизаторов DA3 и DA4. К разъёму X2 ответным разъёмом (X2', рис. 2а) подключается кабель, второй конец которого через тумблер sMTS102 (П1, рис. 2а) и ножевые клеммы 6,3F (KL1 и KL2) подключается к аккумулятору 18650-HG2 (BAT1), оборудованному двумя приваренными пластинами шириной 6 мм, на которые надеваются клеммы. К этим же клеммам под-

ключается разъём А-543 – аудиогнездо 2,5 моно (X_{зар}), к которому ответным разъёмом (штекер 2,5 моно) подключается кабель, второй конец которого подключается к плате зарядного устройства на базе специализированной микросхемы TC4056A (см. далее).

Для определения степени разрядки аккумулятора входное напряжение питания, условно обозначенное как «+3,6», подаётся на делитель напряжения (в 2 раза), построенный на двух прецизионных (0,1%) резисторах R1 и R2 равных номиналов. С точки соединения этих резисторов уменьшенное в 2 раза входное напряжение подаётся на вход повторителя напряжения, построенного на микропотребляющем ОУ OPA333 (DA1), а с его выхода через RC-цепочку R3, C2 – на один из входов АЦП МК (сигнал ADC_IN). МК с помощью встроенного высокоскоростного АЦП измеряет это напряжение, сравнивает его с тремя порогами (3,2 В, 3,5 В и 3,8 В) и в зависимости от

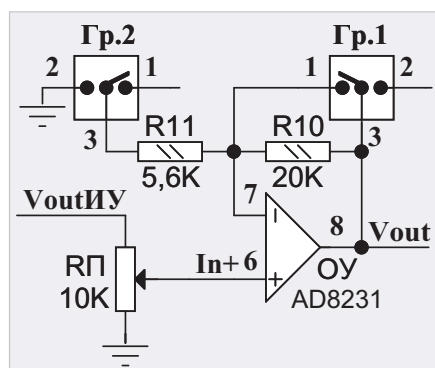


Рис. 3. Условная схема подключения ОУ AD8231

этого напряжения выводит на дисплей рисунок аккумулятора с тремя сегментами, о степени зарядки которого можно судить по количеству включённых сегментов (см. далее). Блокировочный конденсатор С1 положен по штату работы ОУ DA1.

Выходное напряжение DDS DD2 (сигнал V_{outAD}) с действующим значением $\sim 0,212$ В и постоянной составляющей чуть более $+0,3$ В подаётся на неинвертирующий вход ИУ AD8231 (3-й вывод DA2), к которому подключён конденсатор С10, сглаживающий дискретность представления выходного напряжения ЦАП DDS (как указывалось в [1], эта дискретность составляет 2048 точек по вертикали и 2048–4096 точек по горизонтали), в результате чего синусоидальный сигнал с выхода ИУ становится практически гладкой функцией.

На инвертирующий вход ИУ (2-й вывод DA2) подаётся напряжение чуть более $+0,3$ В, полученное с движка подстроечного резистора R6, входящего в состав делителя напряжения R5, R6, R7. Как известно, выходное напряжение ИУ определяется следующей формулой:

$$V_{outIY} = (V_{in+} - V_{in-}) \times K_y + V_{ref}, \quad (1)$$

где V_{outIY} – выходное напряжение ИУ, V_{in+} – напряжение на неинвертирующем входе, V_{in-} – напряжение на инвертирующем входе, V_{ref} – опорное напряжение, K_y – коэффициент усиления ИУ. Если $K_y = 1$, формула (1) упрощается и принимает вид:

$$V_{outIY} = V_{in+} - V_{in-} + V_{ref}. \quad (2)$$

Пусть постоянная составляющая выходного напряжения DDS равна, например, $0,35$ В, тогда напряжение $V_{in+} = \sim 0,212$ В $+ 0,35$ В. Если выходное напряжение с движка R6 делителя R5, R6, R7 настроить также на $0,35$ В, то $V_{in-} = 0,35$ В. И, наконец, если $V_{ref} = 1,5$ В, то формула (5) ещё более упрощается:

$$V_{outIY} = \sim 0,212 \text{ В} + 0,35 \text{ В} - 0,35 \text{ В} + 1,5 \text{ В} \text{ и приобретает вид:}$$

$$V_{outIY} = \sim 0,212 \text{ В} + 1,5 \text{ В}. \quad (3)$$

Смысл формулы (3) состоит в том, что теперь выходное напряжение ОУ V_{outIY} изменяется относительно $+1,5$ В как в положительную, так и в отрицательную сторону в диапазоне $0,3$ В. Если принять напряжение $V_{ref} = +1,5$ В за, например, аналоговую «землю» (перевёрнутая «ёлочка» на рис. 1 рядом с ИУ DA2), то V_{outIY} также будет изменяться как в положительную, так и в отрицательную сторону относительно этой аналоговой «земли» с амплитудой $0,3$ В. Другими словами, мы получили чистый синусоидальный сигнал без постоянной составляющей с амплитудным значением $0,3$ В относительно аналоговой «земли».

Здесь следует заметить, что если DDS находится в состоянии сброса (такая команда на DDS относительно часто подаётся в программе на МК – см. далее), то его выходное напряжение принимает среднее значение, в связи с чем выходное напряжение V_{outIY} относительно аналоговой «земли» будет равно нулю $V_{outIY} = 0$. Это свойство DDS полезно использовать для точной настройки напряжения с движка R6 делителя R5, R6, R7 (см. далее).

Как видно из рис. 1, сигнал V_{outIY} подаётся на 3-й контакт разъёма X5, сигнал с неинвертирующего входа дополнительного ОУ, встроенного в DA2 (6-й вывод DA2), подаётся на его 2-й контакт, а аналоговая «земля» – на его 1-й контакт. К этому разъёму ответным разъёмом X5' (рис. 2е) подключён трёхпроводный кабель, второй конец которого подключён к переменному резистору RП (3310С). Выход этого дополнительного ОУ (8-й вывод DA2, сигнал V_{out}) подключён ко 2-му контакту разъёма X6, а его 1-й контакт соединён с аналоговой «землей». Кроме того, сигнал V_{out} подключён к 3-му контакту разъёма X7, сигнал с инвертирующего входа дополнительного ОУ (7-й вывод DA2, сигнал In-) подключён к 4-му контакту X7, нижний конец резистора R11 подключён ко 2-му контакту X7, а аналоговая «земля» – к 1-му контакту. К разъёму X7 ответным разъёмом (X7', рис. 2в) подключается кабель, второй конец которого подключается к тумблеру SMTS203 (П2, рис. 2в) с двумя группами контактов.

Назначение разъёмов X5 и X7 – регулировка амплитуды выходного сигнала

V_{out} и изменение коэффициента усиления дополнительного ОУ DA2.

Более подробно этот процесс схематично показан на рис. 3. С движка переменного резистора RП сигнал In+ попадает на неинвертирующий вход ОУ. Резисторы R10 и R11 совместно с группами контактов Гр.1 и Гр.2 тумблера включены так, что в одном положении групп контактов (как на рис. 3) выводы ОУ 7 и 8 замыкаются, а левый по схеме конец резистора R11 оказывается свободным. В этом случае ОУ представляет собой обычный повторитель напряжения, поданного на его неинвертирующий вход с движка резистора RП. В ином положении групп контактов, когда тумблер переключён в противоположную сторону, выводы 7 и 8 ОУ размыкаются, и резистор R10 включается в обратную связь ОУ (между его выходом и инвертирующим входом), а резистор R11 подключается к аналоговой «земле». В этом состоянии ОУ становится неинвертирующим усилителем с коэффициентом усиления $K_y = 1 + R10/R11 = 1 + 20K/5,6K = 4,57$.

Теперь, резюмируя вышесказанное, имеем следующее.

В первом положении тумблера П2 (рис. 2в), когда ОУ является повторителем с $K_y = 1$, получаем, что выходное напряжение ОУ может регулироваться переменным резистором RП от $V_{out} = 0$ В до $V_{out} = \sim 0,212$ В (действующее значение) с амплитудным значением $V_{outAMP} = 0,212 \text{ В} \times \sqrt{2} \approx 0,2998 \approx 0,3$ В. Этот режим работы генератора целесообразно использовать для настройки различного рода предварительных усилителей, когда источником сигнала являются типовые аудиоустройства (проигрыватели CD, виниловых пластинок, аудиовыход телефона и т.п.) со стандартным для аудиосигнала выходным напряжением с амплитудным значением $0,3$ В.

Во втором положении тумблера, когда $K_y = 4,57$, получаем, что выходное напряжение ОУ может регулироваться резистором RП от $V_{out} = 0$ В до $V_{out} = \sim 0,212 \text{ В} \times 4,57 = \sim 0,97$ В (действующее значение) с амплитудным значением $V_{outAMP} = 0,97 \text{ В} \times \sqrt{2} \approx 1,37$ В. Этот режим работы генератора обычно используют для настройки различных усилителей мощности звуковой частоты (УМЗЧ), источником сигнала для которых, как правило, является синусоидальный сигнал с максимальной амплитудой около 1 В.

Здесь может возникнуть вопрос: а зачем использован дополнительный ОУ, входящий в состав AD8231, коэффициент усиления которого переключается аппаратным способом – тумблером (рис. 3)? Ведь ИУ AD8231 оборудован встроенным средством переключения коэффициента усиления с помощью логических входов A0, A1 и A2 (рис. 1), позволяющих установить коэффициент усиления от 1 до 128 (в том числе и, например, 4), состояние которых можно менять, например, программным способом, если их подключить к МК. И почему эти входы заземлены, в связи с чем коэффициент усиления ИУ постоянно установлен и равен 1?

На это есть две причины.

Первая заключается в том, что в формуле (1), в которой присутствует этот коэффициент усиления (K_y), скрыто некоторое лукавство. Оно заключается в том, что если K_y больше единицы (например, 2 и больше), то эта формула работает неадекватно. Эта неадекватность проявляется в том, что если $V_{in+} - V_{in-} \times K_y$ (см. формулу (1) больше 0,3 В, или, другими словами, если мгновенное значение синусоидального сигнала опускается ниже –0,3 В (относительно «земли»), а такое возможно, если $K_y > 1$, то нижняя часть синусоиды обрезается на уровне примерно –0,3 В, и сигнал становится уже несинусоидальным. Но ведь в формуле (1) есть ещё член « $+V_{ref}$ », который равен +1,5 В, и по формуле (1) он должен поднимать выходное напряжение на эти 1,5 В, что намного больше, чем 0,3 В. Хотя чисто математически это и верно, однако на практике, к сожалению, это не работает. Вот в этом и состоит лукавство формулы (1), которая (в данном случае) работает только тогда, когда $K_y = 1$.

Вторая (и главная) причина состоит в том, что, как видно из формулы (1), член V_{in-} , регулирующий смещение и подстраиваемый резистором R6 (рис. 1), умножается на K_y (в том числе), и, если $K_y > 1$, то это смещение также будет умножаться на K_y . В этом случае это смещение придётся также дополнительно регулировать, что неприемлемо. Вот поэтому ИУ должен работать строго при $K_y = 1$.

Сигнал V_{out} и аналоговая «земля» также подаются на разъём X6 (рис. 1), к которому ответным разъёмом X6' подключён двухпроводный кабель, второй конец которого подключается

к разъёму RCA красного цвета – RS-104 (X1, рис. 2д) и через тумблер sMTS102 (ПЗ, рис. 2д) – к разъёму RCA зелёного цвета – RS-104 (X2, рис. 2д). Разъём X1 служит для подключения выходного сигнала генератора к осциллографу для настройки, т.е. для получения сигнала необходимой частоты и амплитуды, после чего тумблером ПЗ уже подключается к разъёму X2, к которому подключён кабель для тестируемого аудиоустройства.

Как видно из рис. 1, плата генератора не отличается особой сложностью, поэтому легко разводится и имеет размер всего 20×36 мм (см. далее).

Программные средства

Программирование МК проводилось в среде Simplisity Studio V.4.1.

В программе для МК основными являются четыре подпрограммы (п/п):

- 1 – п/п вывода информации по интерфейсу SPI в дисплей,
- 2 – п/п вывода информации по интерфейсу SPI в DDS,
- 3 – п/п измерения напряжения аккумулятора и вывод состояния его заряженности на дисплей,
- 4 – п/п, определяющая состояние кнопок для получения числового значения частоты.

1. П/п для дисплея. Вывод информации в дисплей достаточно хорошо известен и приводится в его справочном листке (datasheet). Для получения кодов цифр и символов автор использовал известную программу GLCD Font Creator 1.2.0.0. Для цифр использован шрифт Clarendon Extended, жирный, размером 18. Каждая цифра занимает поле 22×16 пикселей. Для символов («Гц», рисунок аккумулятора с тремя сегментами, символ синусоиды и символ квадрата с «галкой», отражающий режим работы генератора) использован шрифт Clarendon Extended, жирный, размер 8. Каждый символ занимает поле 22×8 пикселей. Вывод цифр и символов осуществляется побайтно с использованием стандартной п/п аппаратного вывода байта по SPI со скоростью чуть более 2,5 Мбод.

2. П/п для DDS. Вывод информации в DDS по SPI осуществляется двухбайтными словами также с использованием стандартной п/п аппаратного вывода байта по SPI с той же скоростью, что и в дисплей. Здесь имеются два нюанса.

Первый состоит в том, что для вывода числового значения частоты F, которая представляется 32-разрядным сло-

вом, используется совмещение (union) этого слова с двумя 16-разрядными словами – старшим и младшим. Числовое значение частоты в DDS представляет собой 28-разрядный код, 14 младших бит которого являются 14-ю младшими битами в младшем слове, а 14 старших бит кода – 14-ю младшими битами старшего слова. А два старших бита каждого слова – это управляющий код. Если, например, этот управляющий код равен 01b (01₂), то DDS будет воспринимать его следующим образом. Во-первых, будет выводиться синусоида (есть ещё прямоугольный и треугольный меандры), во-вторых, численное значение частоты будет вводиться в нулевой регистр частоты (FREQ0), а численное значение фазы (как правило, нулевое значение) – в нулевой регистр фазы (PHASE0). Есть ещё FREQ1 и PHASE1, но их использовать не требуется.

Для получения значения двух 16-разрядных слов, выводимых в FREQ0, используется следующая процедура. Вначале соответствующее числовое значение частоты F необходимо умножить на 32 (см. формулу 3 в [1]). Затем сдвинуть полученное значение F влево на 2 бита. В этом случае в старшем слове вышеуказанного совмещения в его 14 младших битах будут находиться 14 старших бит 28-разрядного кода, а в младшем слове – 14 младших бит кода, только сдвинутых влево на 2 бита. Сдвинув вправо младшее слово на 2 бита (т.е. восстановив сдвинутое влево значение), получим, что в его 14 младших битах будет содержаться 14 младших битов кода. Теперь к каждому слову необходимо добавить 2 бита управляющего кода (01b). Для этого каждое из слов нужно логически сложить с числом 0x4000. После этой процедуры необходимо вывести поочередно в DDS сначала младшее слово, а затем – старшее.

Второй нюанс заключается в следующем. Со стороны МК вывод информации по SPI в дисплей и DDS осуществляется с использованием трёх параметров. Во-первых, оба устройства являются ведомыми (Slave), а МК – ведущим (Master). Во-вторых, у обоих устройств настройка фазы (Clock Phase) одна и та же, т.е. данные тактируются первым же импульсом SCK (Data sample on first edge).

В-третьих (и это главное), у этих устройств разная так называемая полярность. У дисплея состояние импульса

SCK в отсутствие обмена (Clock Polarity) находится в низком уровне (Low in idle state), а у DDS – в высоком. Но поскольку обмен информацией МК с дисплеем происходит на порядок чаще, при инициализации устройств выбираем правильную полярность для дисплея (Low in idle state), а перед началом обмена с DDS уже программным способом необходимо переключить полярность на обратную и после окончания обмена – восстановить прежнюю. Это переключение осуществляется изменением бита полярности в регистре SPI0CFG. Другими словами, при выводе информации в DDS вначале необходимо переключить бит полярности с «дисплейного» (заданного в начальной конфигурации) на «DDS-й», а после окончания вывода восстановить первоначальное его (бита) значение, иначе дисплей работать не будет.

Теперь более конкретно.

Вот совмещение двухбайтного числа U.US и массива с двумя элементами: U.UB[0] – старший байт и U.UB[1] – младший байт, которые, во-первых, перераспределяют одно и то же место в памяти МК, во-вторых, строго определяют друг друга, а именно – число U.US однозначно определяет числа U.UB[0] и U.UB[1] и наоборот:

```
union {
    uint16_t US; // U.UB[0]- Ст.6.
    uint8_t UB[1]; // U.UB[1]- Мл.6.
} U; // U.US - 2-байтное uint16_t
число.
```

Вот п/п вывода двухбайтного слова в DDS:

```
void outspi16(uint16_t wor) {
    U.US = wor;
    SPI0CFG = SPI0CFG | 0x10; //IDLE_
HIGN для AD9833 CSAD = 0; //
CSAD=0.
    outspi(U.UB[0]); //Ст.6.
    outspi(U.UB[1]); //Мл.6.
    CSAD = 1; //CSAD=1.
    SPI0CFG = SPI0CFG & 0xef; //
IDLE_LOW - Для дисплея
}
```

Вот определение числа частоты F как 32-разрядного:

```
uint32_t F; // частота в Гц
```

Вот совмещение 4-байтного (uint32_t) числа FR.FRL и двух двухбайтных (uint16_t) чисел FR.FRS[0] и FR.FRS[1] двухэлементного массива FRS[1], которые также занимают одно и то же место в памяти МК и являются соответственно старшим и младшим словами числа FR.FRL.

```
union {
    uint32_t FRL; // FR.FRS[0]- Ст.
uint16_t слово.
    uint16_t FRS[1]; // FR.FRS[1]-
Мл. uint16_t слово.
} FR; // FR.FRL - 4-байтное
uint32_t число.
```

А вот и сама п/п вывода частоты и фазы в DDS:

```
//Вывод частоты в DDS
FR.FRL = F * 32;
FR.FRL = FR.FRL << 2; //Сдвиг все-
го числа uint32_t влево на 2 бита
FR.FRS[0] = (FR.FRS[0]) | 0x4000;
//Добавка 2-х ст.бит 01b к ст. сло-
ву для FREG0
FR.FRS[1] = ((FR.FRS[1]) >> 2)
| 0x4000; //Сдвиг мл. слова вправо
на 2 бита (восст.) //и добавка 2-х
ст.бит 01b к мл. слову
outspi16(0x2108); // Сброс DDS
(стоп)
outspi16(FR.FRS[1]); // вывод мл.
слова частоты в FREG0
outspi16(FR.FRS[0]); // вывод ст.
слова частоты в FREG0
outspi16(0xC000); // вывод PHASE0
outspi16(0x2008); // Выход из
сброса (запуск)
```

Таким образом, программирование DDS примитивно просто, а приведённая выше п/п занимает ничтожный объём программной памяти МК.

3. П/п для измерения напряжения аккумулятора и вывода на дисплей степени его зарядки также проста. Она десятикратно измеряет напряжение ($U_{\text{АКК}}$), поступающее на вход ADC0.1 (P0.1) МК, усредняет его, сравнивает с порогами (3,2 В, 3,5 В и 3,8 В) и в зависимости от среднего значения напряжения выводит на дисплей рисунок аккумулятора с тем или иным количеством сегментов, а именно:

- если $U_{\text{АКК}} > 3,8$ В, то выводится рисунок аккумулятора с тремя сегментами;
- если $3,5 \text{ В} < U_{\text{АКК}} \leq 3,8 \text{ В}$, то выводится рисунок аккумулятора с двумя сегментами;
- если $3,2 \text{ В} \leq U_{\text{АКК}} \leq 3,5 \text{ В}$, то выводится рисунок аккумулятора с одним сегментом;
- если $U_{\text{АКК}} < 3,2 \text{ В}$, то выводится рисунок аккумулятора без сегментов (пустой).

Сама п/п позаимствована из одного из примеров программирования АЦП в Simplisity Studio и адаптирована под настоящую задачу.

4. Теперь по поводу того, как работает п/п, определяющая состояние кнопки.

Как можно увидеть из схемы рис. 1, сигналы от кнопок, очищенные от дребезга их контактов с помощью DD3, поступают на порты P0.4 и P0.5 МК, для чего в основной программе сделаны следующие назначения:

```
sbit KN1 = P0 ^ 4; // Правая
кнопка
```

```
sbit KN2 = P0 ^ 5; // Левая кнопка
```

Отсутствие дребезга контактов позволяет в п/п, связанной с кнопками, легко определять их состояние всего двумя простыми командами, которые выполняются в бесконечном цикле (while (1)), выход из которого (break) осуществляется при нажатии и отпускании соответствующей кнопки:

```
while (1) {
    if (!KN1) { // Ждём нажатия кноп-
ки KN1
        while (!KN1); // Ждём отпускания
кнопки KN1
        ... // Вывод на дисплей цифр и
запуск/стоп
        break;
    }
    if (!KN2) { // Ждём нажатия кноп-
ки KN2
        while (!KN2); // Ждём отпускания
кнопки KN2
        ... // Вывод на дисплей режима
        break;
    }
}
```

Вывод на дисплей опущен. Как можно убедиться, п/п очень проста.

После трансляции всей программы МК для генератора в среде Simplisity Studio в специальном окне, отражающем результат трансляции, появляется следующее сообщение:

```
Program Size: data=69.0 xdata=0
const=812 code=2093
LX51 RUN COMPLETE. 0 WARNING(S),
0 ERROR(S)
Finished building target:
EFM8SB10F8G-A-QFN20_11.omf
```

Из этого сообщения следует, что программа использует чуть более половины (всего 69 байт) внутренней оперативной памяти с прямой адресацией (data=69.0), размер которой 128 байт, внешняя дополнительная оперативная память с косвенной адресацией размером 512 байт не используется вообще (xdata=0), размер кодовой части программы составляет 2093 байт (code=2093) плюс константы 812 байт (const=812) в сумме составляют $2093 + 812 = 2905$ байт $\approx 2,8$ Кбайт, т.е. чуть более трети максимального размера программной памяти для

МК, равного 8 килобайт. Программа использует так называемую Small model, где все данные располагаются в памяти с прямой адресацией (data) и которая работает наиболее быстро.

Программа в уже готовом загрузочном формате EFM8SB10F8G_A_QFN20_11.hex приведена в дополнительных материалах к статье на сайте журнала (QR-код в начале статьи). Её можно записать в память МК с помощью USB DEBUG адаптера (см. выше).

Разводка и внешний вид платы прибора

Разводка платы устройства сделана автором с помощью программы SprintLayout v.6. Файл разводки в формате *.lay6 приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Из рисунков разведённой платы и её внешнего вида (рис. 4) можно заключить, что её разводка достаточно проста, а сама плата имеет размер всего 20×36 мм (против 22×40 мм в [1]).

Все отверстия на разводке (кроме отверстий для подстроечного конденсатора и подстроечного резистора) – это переходные отверстия со слоя на слой. Если через них проходят штыри разъемов и выводы кварцевого резонатора, то их следует пропаять с двух сторон платы. Во все остальные переходные отверстия (отмеченные на рис. 4а чёрными кружками) следует вставить тонкий лужёный медный провод и также пропаять его с двух сторон платы. Эта процедура позволяет не использовать металлизацию отверстий, технология которой в домашних условиях весьма проблематична, а потому неприемлема.

Конструкция прибора

Прибор расположен в пластиковом корпусе размером 70×45×30 мм (против 75×75×30 мм в [1]) с защёлкивающейся крышкой, являющейся дном (рис. 5). На лицевой стороне корпуса для дисплея прорезано прямоугольное окно. Плата дисплея приклеена к внутренней поверхности лицевой стороны корпуса пористой лентой с двусторонним липким слоем. Аккумулятор приклеен к внутренним поверхностям лицевой и боковой сторон корпуса тонкой лентой с двусторонним липким слоем. Плата прибора установлена между аккумулятором и внутренней поверхностью боковой стороны корпуса и соединена с платой дисплея кабелем и соответствующи-

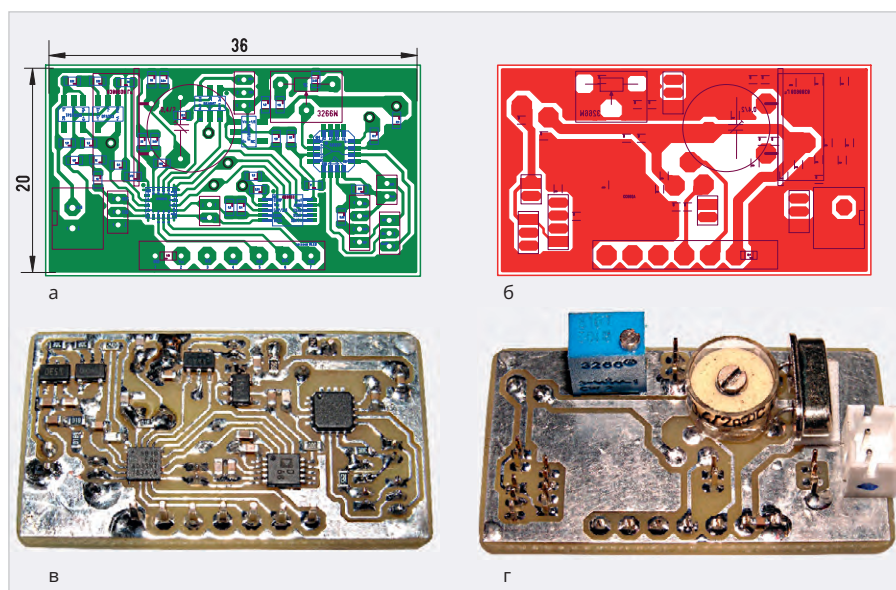


Рис. 4. Разводка и внешний вид платы прибора: а, в – вид со стороны расположения SMD-компонентов; б, г – вид с обратной стороны

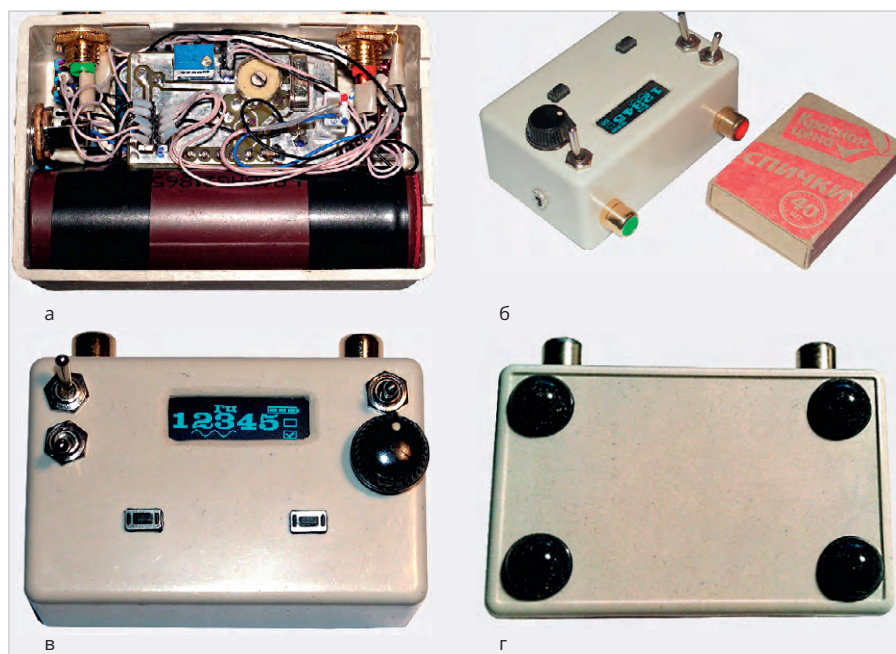


Рис. 5. Конструкция и внешний вид прибора: а – вид в открытом корпусе без крышки, б – вид сбоку, в – вид сверху, г – вид снизу

ми разъёмами, распаянными так, чтобы каждый контакт платы (1–7) соединялся с соответствующим контактом платы дисплея (1–7).

Кнопки впаяны в небольшие (7×10 мм) прямоугольные пластины, вырезанные из макетной платы, а к их контактам припаян кабель, соединяющийся с соответствующим разъёмом платы. Для кнопок на лицевой стороне корпуса также прорезаны прямоугольные окна. Пластины приклеены к внутренней поверхности корпуса так, чтобы кнопки входили в окна на его лицевой стороне. Тумблеры и переменный резистор вставлены в

отверстия, просверленные на лицевой стороне корпуса, и прикручены к нему соответствующими гайками. Два аудиоразъёма и разъём для зарядки аккумулятора укреплены через отверстия на боковых сторонах корпуса и прикручены к нему соответствующими гайками. Чтобы корпус при работе не скользил, на его дно установлены 4 самоклеящиеся резиновые ножки (рис. 5г).

Назначение и положение тумблеров (рис. 5в) следующее. Левый верхний тумблер – выключатель питания. В верхнем его положении питание включено, в нижнем – выключено.

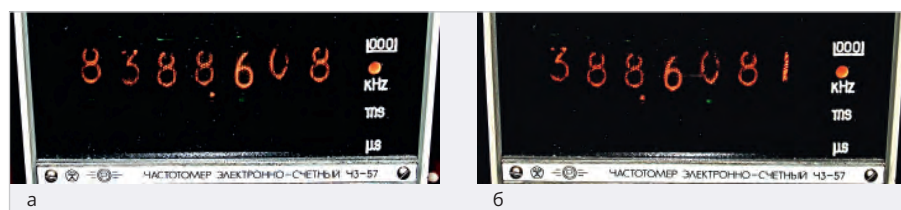


Рис. 6. Настройка кварцевого резонатора на частоту 8 388 608 Гц:

а – $T = 1$ с, б – $T = 10$ с

Левый нижний тумблер – переключатель коэффициента усиления ИУ. В верхнем положении тумблера коэффициент усиления равен 4,57, в нижнем – 1. Правый верхний тумблер подключает выходной сигнал к зеленому аудиоразъёму (на красном аудиоразъёме сигнал присутствует всегда). В верхнем положении тумблера сигнал подключён, в нижнем – отключён. На ручке, надетой на шток переменного резистора, регулирующего амплитуду выходного сигнала генератора, имеется носик и белая точка, позволяющие отследить положение самого резистора. При вращении ручки против часовой стрелки до упора – положение, при котором амплитуда нулевая, по часовой стрелке до упора – максимальная.

Настройка прибора

Настройка прибора состоит из двух действий (см. рис. 1): настройки нуля выходного напряжения генератора в режиме сброса с помощью подстроечного резистора R6 и настройки тактовой частоты 8 388 608 Гц подстроечным конденсатором C4.

Вначале о настройке нуля выходного напряжения.

К выходному разъёму RCA X1 на рис. 2д (разъём красного цвета на рис. 5б) необходимо подключить цифровой вольтметр или цифровой мультиметр. Переключить диапазон измерения постоянного напряжения (DC) в мультиметре на минимальное значение в милливольты. Резистор, регулирующий амплитуду выходного сигнала генератора (RП, рис. 2е), установить на максимум. Включить прибор, переключить левый нижний тумблер в нижнее положение (единичный коэффициент усиления) и, вращая шлиц подстроечного резистора R6 (на рис. 5а он голубого цвета) отвёрткой, желательно с керамическим наконечником, в ту или иную сторону, добиться нулевого показания мультиметра. Автор использовал мультиметр на милливольтном диапазоне с одним разрядом после запятой. Показания мультиметра при пра-

вильной настройке составили 000,0 мВ. Далее переключить тумблер в верхнее положение (коэффициент усиления 4,57). Подстроить ноль, вращая шлиц подстроечного резистора до показания мультиметра, равного 000,0 мВ. Если после этого переключить тумблер в нижнее положение, и ноль в показаниях мультиметра останется, то настройка нуля считается законченной.

Теперь о настройке тактовой частоты МК, а точнее – о настройке частоты кварцевого резонатора.

Здесь следует сделать некоторое отступление относительно ёмкости конденсаторов C3 и C5 на рис. 1. Как правило, если обозначить эти ёмкости как C_g , нагрузочную ёмкость кварцевого резонатора, указанную в его справочном листке (datasheet), как C_L , а паразитную ёмкость как C_s (это обычно 4–5 пФ на каждый вывод МК, которых два, поэтому их общая ёмкость 8–10 пФ), то для расчёта C_g используется следующая формула, которая взята из справочного листка (datasheet) на EFM8SB10F8:

$$C_g = 2 \times (C_L - C_s). \quad (4)$$

Если, например, $C_L = 30$ пФ (как в кварцевом резонаторе, применённом автором), $C_s = 8$ пФ, то по формуле (4) $C_g = 2 \times (30 - 8) = 44$ пФ. При $C_s = 10$ пФ $C_g = 2 \times (30 - 10) = 40$ пФ. Т.е. $C_g = 40 - 44$ пФ. В связи с этим автор выбрал (см. рис. 1) ёмкости C3 и C5 – по 39 пФ, а добавочные ёмкости C3' и C5' – по 3,6 пФ (и не ошибся – см. далее). Кроме того, ёмкость подстроечного конденсатора C4 варьируется в пределах 0,4–2 пФ.

Возвращаемся к прерванной последовательности изложения.

Подключить частотомер к прибору кабелем, один конец которого подключить ответным разъёмом к разъёму X4 на рис. 1, а второй, с разъёмом BNC, – к частотному входу частотомера. Автор использовал достаточно прецизионный частотомер ЧЗ-57 (который поверялся в Ростесте несколько раз). Включить прибор и, вращая шлиц подстроечного конденсатора C4 отвёрткой,

желательно с керамическим наконечником, добиться показания частоты частотомера, равной 8 388 608 Гц (рис. 6). В частотомере ЧЗ-57 имеются несколько диапазонов времени T, при которых измеряется частота. В частности, есть 2 диапазона (T): $T = 1$ с и $T = 10$ с. На диапазоне $T = 1$ с необходимо добиться показания частотомера «8388,608 кГц» (рис. 6а). В принципе, на этом можно и закончить настройку, однако, потратив ещё немного времени и переключив диапазон на $T = 10$ с, можно добиться более точных показаний. В этом случае, в связи с ограниченным количеством цифр числа частоты индикатора в данном частотомере, левая цифра («8») исчезает (она неинтересна, поскольку её значение уже известно), зато появляется 4-я цифра после запятой, и показания частотомера можно настроить до десятой герца, например, до «388,6081» кГц (рис. 6б), хотя, конечно, такая точность совсем не обязательна.

На этом настройка тактовой частоты заканчивается.

Порядок работы

При включении прибора на дисплее появляется изображение, показанное на рис. 7а. Курсор (черта под цифрой) устанавливается под первой цифрой, в данном случае это «0», а справа от цифр появляется квадрат с «галкой» внутри, которая сигнализирует о том, что данный режим работы (набор цифр) является активным. Предположим, требуется набрать частоту 12345 Гц. Нажимаем и отпускаем (в дальнейшем слово «отпускаем» подразумевается, но в тексте отсутствует) левую кнопку, и левая цифра становится равной «1» (рис. 7б). Далее нажимаем правую кнопку, и курсор передвигается на следующую позицию (рис. 7в). Нажимаем левую кнопку 2 раза, и на второй позиции появляется цифра «2» с курсором под ней (рис. 7г). Таким же способом набираем остальные цифры «12345» (рис. 7д). После того как набрана последняя цифра «5», нажимаем правую кнопку. «Галка» в квадрате справа от цифр пропадает (этот режим становится неактивным), курсор под цифрой «5» также пропадает, а справа внизу появляется новый квадрат с «галкой», сигнализирующей, что активным является режим «запуска/стопа». В данном конкретном случае это режим «стопа», о чём сигнализирует длинная черта слева от квадрата с «галкой» (рис. 7е). Нажимаем

левую кнопку. В этом случае генератор запускается, о чём свидетельствует значок синусоиды, появляющийся вместо длинной черты (как в мини-осциллографе), а в верхнем правом углу дисплея появляется рисунок аккумулятора с двумя сегментами, сигнализирующими о том, что аккумулятор заряжен не полностью (рис. 7ж). Этот режим работы генератора является наиболее энергопотребляющим, поэтому состояние заряженности аккумулятора проверяется именно в этом режиме. Если ещё раз нажать левую кнопку, то генератор остановится, и на экране опять появится длинная черта (как на рис. 7е). Таким образом, нажимая левую кнопку, можно запускать и останавливать генератор с набранным числовым значением частоты сколько угодно раз. Но если в этом режиме нажать правую кнопку, то генератор, во-первых, остановится, а во-вторых, переключится в режим набора новой частоты (как на рис. 7з). При этом рисунок аккумулятора в правом верхнем углу останется, как и пустой квадрат в правом нижнем углу.

Как видно из вышеописанного, управление генератором достаточно просто.

Зарядка аккумулятора

Как уже упоминалось выше, для зарядки аккумулятора используется специальная плата на базе микросхемы TC4056A, оборудованная разъёмом MicroUSB для подключения к ней устройства для зарядки телефона с выходным напряжением 5 В. Здесь следует заметить, что на плате с TC4056A по умолчанию установлено максимальное значение зарядного тока в 1 А. Такой ток обеспечива-



Рис. 7. Ввод частоты и запуск прибора

ют далеко не все зарядные устройства для телефона. Кроме того, при токе 1 А плата с TC4056A достаточно сильно нагревается и может выйти из строя от перегрева. Поэтому, если использовать зарядку для телефона (или, например, для зарядки аккумуляторов IQOS), обеспечивающую ток 1 А (или более), то плату необходимо установить на радиатор. Для этого автор использовал миниатюрный пластиковый корпус размером 45×30×16 мм, состоящий из двух половин, которые защёлкиваются между собой (рис. 8). В одну часть корпуса в качестве радиатора установлена медная пластина толщиной 2 мм и размером несколько большим, чем сама плата. Эта пластина прикручена к корпусу 4 винтами M2, для чего в ней просверлены отверстия и нарезана соответствующая резьба. Чтобы пластина не каса-

лась корпуса, между ними в качестве толстых шайб установлены 4 гайки M3. Плата приклеена к пластине гибкой термопрокладкой с двусторонним липким слоем (рис. 8а). К выходным контактам платы одним концом припаян двухпроводный кабель, который дополнительно укреплен каплей термоклея, а на другой его конец припаян аудиоразъём – штекер моно 2,5 мм, который подключается к ответному разъёму прибора (рис. 5б, рис. 8). Для разъёма USB в верхней половине корпуса прорезано небольшое окно. Для доступа воздуха внутрь корпуса в обеих его половинах просверлены по 4 отверстия. Кроме того, в целях контроля процесса зарядки на плате расположены два светодиода – красного и синего цвета, а в корпусе просверлены ещё 2 отверстия как раз над этими светодиодами, что-

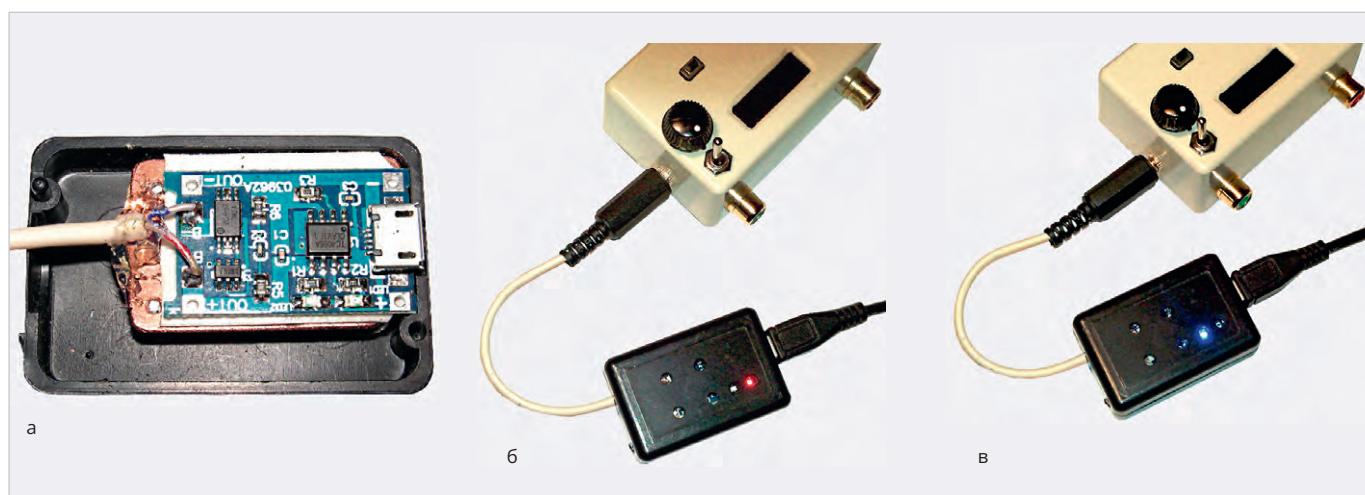


Рис. 8. Устройство для зарядки аккумулятора: а – внутреннее устройство, б – процесс зарядки, в – окончание зарядки

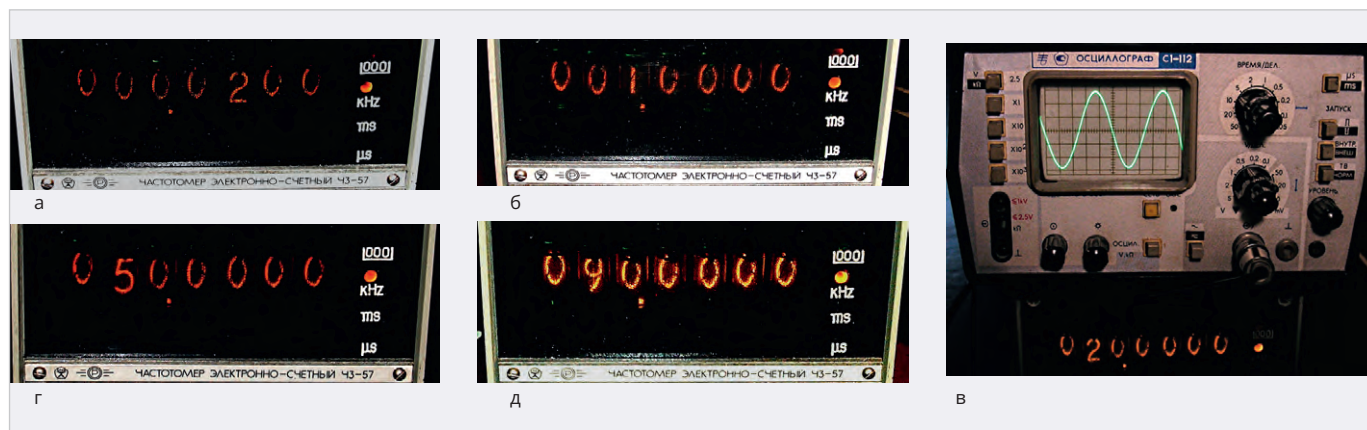


Рис. 9. Показание частотомера при набранных на приборе частот: а – 20 Гц, б – 1000 Гц, в – 20 000 Гц, г – 50 000 Гц, д – 90 000 Гц

бы их можно было увидеть. Когда идёт процесс зарядки, горит красный светодиод (рис. 8б). По окончании зарядки красный светодиод гаснет и зажигается синий (рис. 8в). Зарядку аккумулятора необходимо производить при выключенном приборе.

Если же зарядка для телефона обеспечивает ток не более 0,5 А, то радиатор не нужен, так как в этом случае нагрев платы небольшой; правда, время зарядки аккумулятора будет существенно больше.

Основными потребителями тока в генераторе являются: МК (3 мА против 5 мА в [1]), DDS (4,3 мА против 5 мА в [1]), ИУ (4 мА против 5 мА в [1]) и дисплей (5 мА против 0,5 мА в [1]). Все остальные микросхемы (стабилизаторы и ОУ) – микропотребляющие и вместе взятые потребляют не более 0,1 мА, поэтому потребление тока ими можно не учитывать. Таким образом, общее потребление тока прибора составляет не более 16,3 мА. Учитывая, что ёмкость аккумулятора составляет 3 А·ч, или 3000 мА·ч, время непрерывной работы прибора при полностью заряженном аккумуляторе составит: 3000 мА·ч / 16,3 мА ≈ 180 часов.

Результаты работы

Далее приведены результаты измерений параметров выходного сигнала генератора как по частоте, так и по форме.

Сравнение числового значения частоты, набранной на приборе (их фотографии, на взгляд автора, приводить нет смысла), и частоты реального выходного сигнала, измеренной частотомером (рис. 9), показывает, что они полностью совпадают. Этот результат – следствие достаточно точной настройки частоты кварцевого

резонатора 8 388 608 Гц (рис. 6). Помимо частотомера, сигнал с прибора был подан параллельно на аналоговый осциллограф (рис. 9в). Как можно убедиться из этой фотографии, сигнал – достаточно гладкая функция, лишённая каких-либо «зазубрин», присущих цифровым сигналам. Это является следствием применения конденсатора С10 (рис. 1), являющегося своеобразным НЧ-фильтром, сглаживающим цифровое представление выходного сигнала ЦАП в DDS.

Что касается формы выходного сигнала генератора, то она может быть оценена, по крайней мере, по трём параметрам.

Во-первых, этот сигнал можно оценить чисто визуально с помощью аналогового осциллографа. Как видно из рис. 9в, сигнал очень похож на синусоидальный. Кстати, несмотря на субъективность визуального наблюдения, даже незначительные отклонения формы сигнала от синусоидальной достаточно заметны. Так что подобную оценку сигнала на синусоидальность нельзя сбрасывать со счетов.

Во-вторых, синусоидальность сигнала легко проверяется по его спектру. Если в спектре сигнала присутствует единственный пик на соответствующей частоте и отсутствуют какие-либо боковые лепестки, присущие, например, спектру прямоугольного или треугольного меандра, то однозначно можно констатировать, что сигнал синусоидальный. Для оценки спектра сигнал с генератора был подан на цифровой осциллограф (рис. 10) с открытым входом, т.е. пропускающим постоянную составляющую сигнала, что отмечено значком черты и нескольких точек над ней (в левой нижней

части экрана слева от буквы «F»). На снимках экрана (рис. 10а – рис. 10д) представлены как сами осциллограммы сигналов (жёлтого цвета), с разрешением по вертикали 0,5 В/деление (надпись «500mV» жёлтого цвета в левой нижней части экрана), так и их спектры, подсчитанные с помощью быстрого преобразования Фурье – БПФ (fast Fourier transform – FFT) – сиреневого цвета. На рис. 10е разрешение по вертикали 0,1 В/деление (надпись «100mV»).

Как видно из рис. 10, спектры сигналов на частотах 20 Гц (рис. 10а), 1 кГц (рис. 10б), 20 кГц (рис. 10в), 50 кГц (рис. 10г) с амплитудой 1 В и на частоте 90 кГц с амплитудой 0,3 В (рис. 10е) имеют единственный пик на соответствующей частоте. Дополнительные лепестки рядом с этим пиком, а также дополнительные пики на других частотах, кроме основных, на спектрах, как можно заметить, отсутствуют. Кроме того, хотя осциллограммы сигнала имеют «зазубрины», что является следствием не самого сигнала, а его представления на экране цифрового осциллографа, форма сигнала визуально близка к синусоидальной. А вот спектр сигнала частотой 90 кГц и амплитудой 1 В (рис. 10д) имеет боковые лепестки, что указывает на наличие дополнительных частот в сигнале. Кроме того, даже по осциллограмме можно заметить, что сигнал явно не синусоиден (он скорее напоминает несколько размытый треугольный меандр).

И наконец, в-третьих, синусоидальность сигнала может быть проверена соотношением действующего и амплитудного его значений.

Как известно, если функция $u(t) = U_{\text{amp}} \sin(\omega t)$, где U_{amp} – амплитуд-

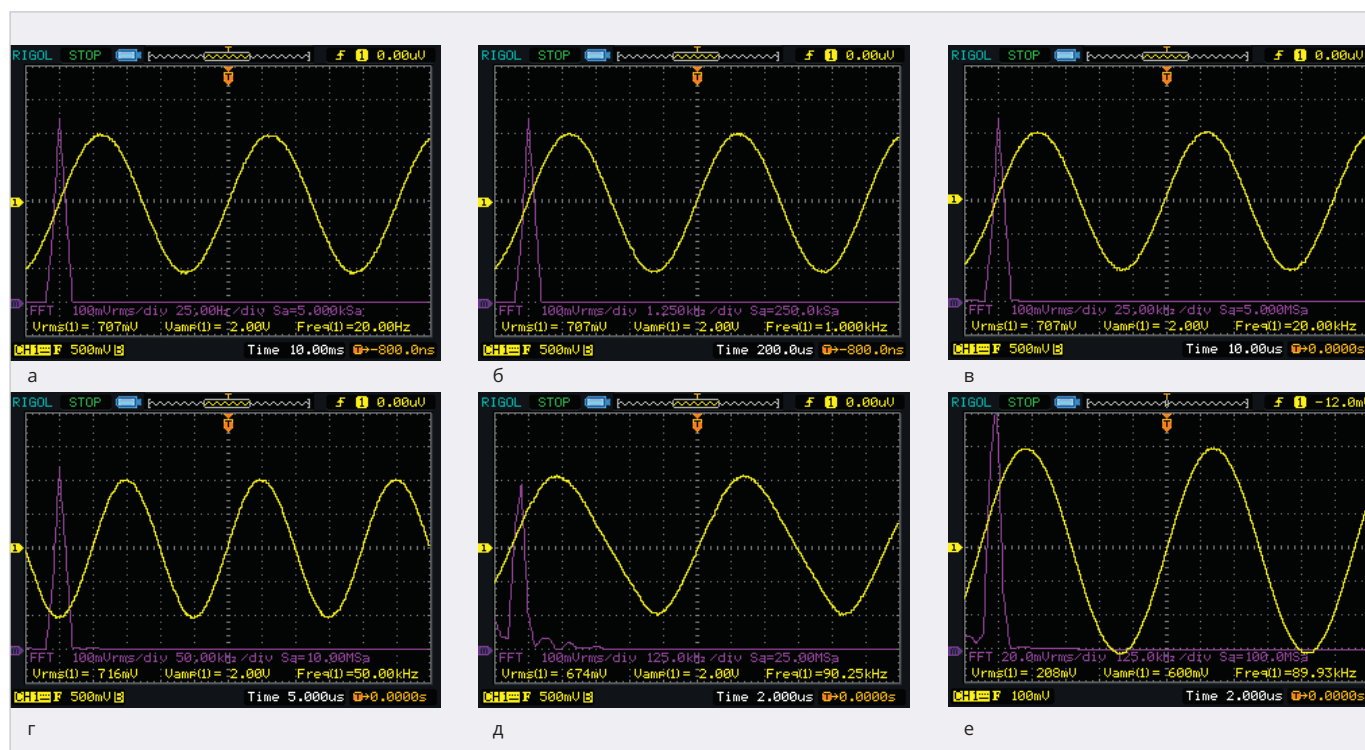


Рис. 10. Осциллограммы (жёлтого цвета) и спектры (сиреневого цвета) выходных сигналов прибора на экране цифрового осциллографа при частотах: а – 20 Гц, б – 1 кГц, в – 20 кГц, г – 50 кГц, д – 90 кГц (а–д – амплитуда 1 В), е – 90 кГц, амплитуда 0,3 В

ное значение, а ω – частота, то средне-квадратичное значение U_{rms} (rms – root mean square – дословно «квадратный корень из среднего квадрата») – действующее, эффективное значение: $U_{rms} = U_{amp} / \sqrt{2} = U_{amp} \cdot \sqrt{2} / 2 \approx 0,707 \times U_{amp}$. Действительно и обратное: если $U_{rms} = 0,707 \times U_{amp}$, то сигнал синусоидален. Этот факт часто используют для определения синусоидальности сигнала.

Как видно из рис. 10а – рис. 10д, в середине нижней части каждого из них имеется надпись жёлтого цвета «Vamp(1)= 2.00V», означающая, что амплитудное значение (U_{amp}) равно 2 В, хотя, судя по разрешению экрана по вертикали (0,5 В/деление – надпись слева снизу «500mV»), амплитудное значение составляет 1 В. На рис. 10е «Vamp(1)=600mV», но по разрешению экрана по вертикали (0,1 В/деление – «100mV») амплитудное значение составляет 0,3 В. Почему за амплитудное значение в осциллографе принято значение двойной амплитуды, непонятно.

Слева от этой надписи на рис. 10а – рис. 10в имеется другая надпись «Vrms(1)= 707mV», которая означает, что действующее значение $U_{rms} = 0,707$ В. На основании этого можно констатировать, что $U_{rms} = 0,707 \times U_{amp}$, или, другими словами, сигнал строго синусоидален. На рис. 10г, как можно заме-

тить, «Vrms(1)=716mV», поэтому $U_{rms} = 0,716 \times U_{amp}$, что указывает на небольшую несинусоидальность этого сигнала (погрешность 1,3%). На рис. 10д «Vrms(1)=674mV», и погрешность уже составляет 4,9%, что указывает на достаточно большую несинусоидальность (см. выше). На рис. 10е имеется также небольшая несинусоидальность. Если амплитуда сигнала равна 0,3 В, то действующее значение будет: $U_{rms} = 0,3 \text{ В} / \sqrt{2} = 0,212 \text{ В}$ (а не 0,208 В «Vrms(1)=208mV»), т.е. погрешность, как нетрудно подсчитать, будет 1,9%, хотя визуально осциллограмма достаточно близка к синусоиде.

Итак, резюмируя вышеизложенное, можно констатировать: результаты измерений показывают, что частота, выставленная на приборе, точно соответствует измеренной, а сигнал с амплитудой 1 В практически синусоидален в пределах от 1 Гц до 50 кГц, а с амплитудой 0,3 В – от 1 Гц до 90 кГц. В звуковом же диапазоне (до 20 кГц) сигнал строго синусоидален.

Заключение

Применение малопотребляющих (с током потребления до единиц мА) DDS AD9833, МК EFM8SB10, дисплея (5 мА), ИУ (4 мА) и микропотребляющих (до 10 мкА) ОУ ОРА333, стабилизаторов TPS78230 (3 В), STLQ15M15R

(1,5 В) и подавителя дребезга контактов кнопок MAX6817 позволило сконструировать недорогой генератор синусоидальных сигналов звукового диапазона (и даже выше) с питанием от аккумулятора 18650-HG2 с напряжением 3,6 В ёмкостью 3 А·ч, обеспечивающим непрерывную работу прибора до 180 часов без подзарядки. Отсутствие сетевого источника питания гарантирует чистоту выходных сигналов генератора, свободных от сетевых или ВЧ помех. Простота установки частоты с помощью всего двух кнопок, высокая яркость 0,91" дисплея OLED-1306 с разрешением 128×32 пиксела способствуют удобству работы с прибором, а его миниатюрный корпус (70×45×30 мм) и вес дали возможность брать его с собой для работы, как говорят, «в полевых условиях».

Литература

1. Кузьминов А. Генератор гармонических колебаний звукового диапазона на базе синтезатора частоты AD9837B, микроконтроллера EFM8SB10 и LCD Nokia-5110 с батарейным питанием // Современная электроника. 2023. № 6.
2. Кузьминов А.Ю. Связь между компьютером и микроконтроллером. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2018.



НОВОСТИ МИРА

Росстандарт утвердил национальный стандарт протокола LoRaWAN для Интернета вещей

Это должно ускорить развитие отрасли в России и помочь отечественным разработчикам выйти на зарубежные рынки.

Росстандарт утвердил национальный стандарт протокола LoRaWAN для Интернета вещей (Internet of Things, IoT). Наряду со стандартами NB-IoT и GSM это один из популярных протоколов беспроводной технологии, обеспечивающей связь между устройствами IoT, пишут «Ведомости».

Утвердил национальный стандарт приказом Росстандарта от 22 декабря 2023 г., а вступить в силу он должен 1 июля 2024 г. Разработку стандарта вёл технический комитет (ТК) 194 «Кибер-физические системы» при участии Ассоциации Интернета вещей (АИВ).

Национальный стандарт нужен для того, чтобы унифицировать технические требования, которые предъявляют производители умных счётчиков и датчиков, и технические возможности сети, которую предоставляют операторы связи. Технология может применяться в сфере строительства и ЖКХ, транспорта и логистики. Применение LoRaWAN может быть нужно для проведения закупок компаниями с госучастием, считает директор АИВ Андрей Колесников.

По словам председателя ТК 194 «Кибер-физические системы» Никиты Уткина, использование нацстандарта является добровольным.

LoRaWAN является одним из наиболее распространённых протоколов в IoT, и на российском рынке уже работают несколько миллионов устройств с его поддержкой, как сказал изданию генеральный директор ГК «Лартех» (поставщик IoT-решений в сферах энергетики, ЖКХ, строительства, сельского хозяйства, транспорта и ритейла) Дмитрий Полторак.

Протокол LoRaWAN даёт возможность работать в условиях сложной городской застройки при относительно невысокой стоимости создания и поддержки инфраструктуры, прокомментировал представитель «ЭР-телеком холдинга». У этой компании сеть интернета вещей с поддержкой более 2 млн датчиков на протоколе LoRaWAN работает в 54 городах России.

Руководитель стратегии интернета вещей МТС Антон Салов в ноябре 2023 г. оценил количество устройств Интернета вещей в России по итогам девяти месяцев 2023 г. в 80 млн шт. По предположению

Колесникова, технология LoRaWAN занимает примерно десятую часть рынка Интернета вещей – не более 4 млн устройств.

Утверждение национального стандарта позволит существенно расширить количество компаний-производителей, считает Полторак. Присвоение технологии ГОСТа повысит её привлекательность для ресурсоснабжающих компаний и застройщиков, добавил изданию представитель «Ростелекома».

Национальный стандарт учитывает специфику российского законодательства, но в то же время совместим с глобальным протоколом LoRaWAN, говорит Уткин. Это даёт возможность использовать соответствующие национальному стандарту устройства и оборудование в глобальных технологических решениях и позволит отечественным разработчикам выйти на зарубежные рынки.

«Глобальные информационные сети, связывающие государства, общества и рынки, являются в первую очередь Интернетом вещей: число межмашинных соединений в мире на 2021 г. втрое превышало число интернет-пользователей (14,6 млрд против 4,9 млрд). К 2030 г. Интернет людей окончательно превратится в остров в океане межмашинных взаимодействий. На этом временном горизонте вклад интернета вещей в мировую экономику будет измеряться уже не сотнями миллиардов, а триллионами долларов, внося существенный вклад в глобальный ВВП», – говорится в отчёте «Интернет вещей. Развитие технологий и оценка возможностей перехода на отечественные решения», который представила в 2023 г. АНО «Цифровая экономика».

По прогнозу МТС, опубликованному на сайте компании, среднегодовые темпы роста рынка IoT в России составят 12% после спада в 2022 г., а сам рынок может вырасти до 208,5 млрд руб. к 2026 г. Если рассматривать выручку по отраслям, то лидерами являются энергетика/ЖКХ (30%), недвижимость (18%) и транспорт (16%). Прогнозируется, что в 2025 году эти отрасли также будут лидирующими: энергетика/ЖКХ (32%), недвижимость (27%), транспорт (12%).

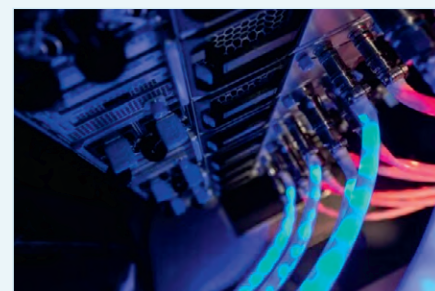
russianelectronics.ru

Операторов обяжут делиться данными о геолокации IP-адресов

Роскомнадзор разработал поправки в проект приказа от 31 июля 2019 года, который перечисляет, какую информацию он должен получать от операторов.

Ведомство планирует собирать у операторов связи информацию о геолокации IP-адресов, которые они используют. Роскомнадзор уже знает, к каким зарубежным линиям связи подключены операторы и какие IP-адреса они используют.

Теперь операторов связи хотят обязать передавать географическое месторасположение использования IP-адресов и данные о целях их использования, сообща-



ет Forbes. Приказ может вступить в силу уже с сентября.

- Например, регулятор хочет узнать, используют ли эти IP-адреса операторы для собственных нужд или же ими пользуются его клиенты. Это необходимо «для быстрой настройки защиты от DDoS-атак из отдельных стран».
- В ведомстве считают, что искажение сведений о страновой принадлежности IP-адресов может приводить к неправомерной блокировке доступа к интернет-ресурсам для россиян при противодействии DDoS-атакам.
- Сейчас разрабатывается национальная система учёта географической принадлежности IP-адресов – GeoIP.
- Одна из её ключевых задач – формирование доверенной базы данных с информацией о геолокации IP-адресов субъектов России. Конечный файл смогут скачать операторы связи и владельцы ресурсов.

Президент Ассоциации операторов кабельного телевидения «Макател» Алексей Амеликин не исключает, что Центр мониторинга и управления сетью связи общего пользования (входит в Главный радиочастотный центр, подведомственный РКН) хочет забрать себе таким образом функции маршрутизации IP-адресов в России.

Сейчас все IP-адреса для россиян выделяет базирующийся в Нидерландах RIPE NCC – один из пяти мировых интернет-регистраторов. Гендиректор оператора «Комфортел» Дмитрий Петров считает, что выполнение требований регулятора будет возможно, если операторы переписут ряд служебных задач и скорректируют работу биллинговых систем.

kod.ru



ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



онлайн: www.cta.ru/magazines/ • +7 495 234-0635 • shop@cta.ru

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

«Гроза-зонт» RS-485

Андрей Шабронов

Атмосферное электричество и молнии имеют величину энергии и токи значительно больше, чем рабочие токи линий связи. Эти токи повреждают оконечные цепи длинных линий, которые в интерфейсе RS-485 подключаются параллельно, и таким образом происходит «массовая гибель» входных микросхем. Вероятность этих событий невелика, но всё же возможна. Предлагаемая схема отделяет участок длинной линии, где возможно наведение больших токов от гроз и молний, от участка с установленными элементами системы сбора и обмена данными термометрии элеватора.

В критический токовый момент повреждаются только входные микросхемы интерфейса RS-485 и микросхемы согласования питания, которые имеют достаточно низкую цену и широко распространены. Мигающий светодиод схемы диагностирует исправность цепей обмена данными. Кроме того, микроконтроллер схемы позволяет провести тестирование интерфейса и обнаружить возможные неисправности защищаемого участка.

Необходимость и достаточность мер защиты от молний

Разработано много различных схем защиты от действий молний и атмосферного электричества [1, 2]. К сожалению, статистику на данные схемы найти сложно ввиду малой вероятности событий. Интуиция инженера подсказывает, что действие защиты будет. Но на практике невозможно определить мощность молнии и оценить, поможет ли в этом случае схема защиты. Есть риск «купить коша в мешке» и не получить защиты.

Поскольку в случае «прорыва» защиты дальше последуют значительные повреждения, то надо сделать так, чтобы «прорыв» отключал последующую линию интерфейса RS-485, а также линию питания. Элементы схемы, «принесённые в жертву», должны однозначно диагностироваться, быть

дешёвыми и удобно заменяемыми. Подобный метод похож на обычный предохранитель, в котором степень защиты определяется по уровню прохождения электрического тока. В предлагаемом методе используется принцип «работает схема или нет». На рис. 1 представлена блочная схема данного подхода к защите.

Для статистической оценки используемого метода желательно иметь также средства защиты на основе ранее применявшихся методов ограничения токов и напряжений в линии, сравнить повреждения от молнии и возможность их использования.

Кроме того, поражению подвержен и блок А. Это блок формирования интерфейса RS-485 и напряжения питания 18 В от шины USB компьютера мониторинга. Для возможной замены удобно использовать модульные блоки, которые в настоящее время доступны и экономичны.

Принципиальная схема защиты RS-485

Схема и вид основных компонентов представлены на рис. 2. Схема содержит два узла преобразования интерфейса RS-485 на микросхеме U1, 3 sr485 и ретранслятор сигналов, который выполнен на микроконтроллере (МК) U2 PIC12F629 [3].

Назначение элементов:

- разъёмы XP1, 2 подключаются к стороне угрозы, т.е. к участку линии от компьютера управления. По линии поступает питание и сигналы RS-485. Входное напряжение питания поступает на два стабилизатора для формирования +5 В (Q1) и +12 В (Q2). Информационные сигналы поступают на вход U1. Резисторы R1, 2, 3 выполняют согласование линии с микросхемой преобразования. Таким образом, максимальная угроза направлена на данные элементы схемы;
- выходной преобразователь U3 построен аналогично входному и имеет такие же резисторы согласования R6, 7, 8. Входной и выходной преобразователи связывает МК U2, который работает по программе битной ретрансляции для скорости 1200 бод. Предусмотрено использование и других скоростей обмена при соответствующем программировании МК;
- разъёмы J1,2 востребованы при работе нескольких подобных схем защиты, которые в этом случае включаются параллельно или по входу, или по выходу;
- выбранная скорость обмена в 1200 бод позволяет сформировать длину линии не менее одного километра для кабелей типа UTF5 или КСПП,

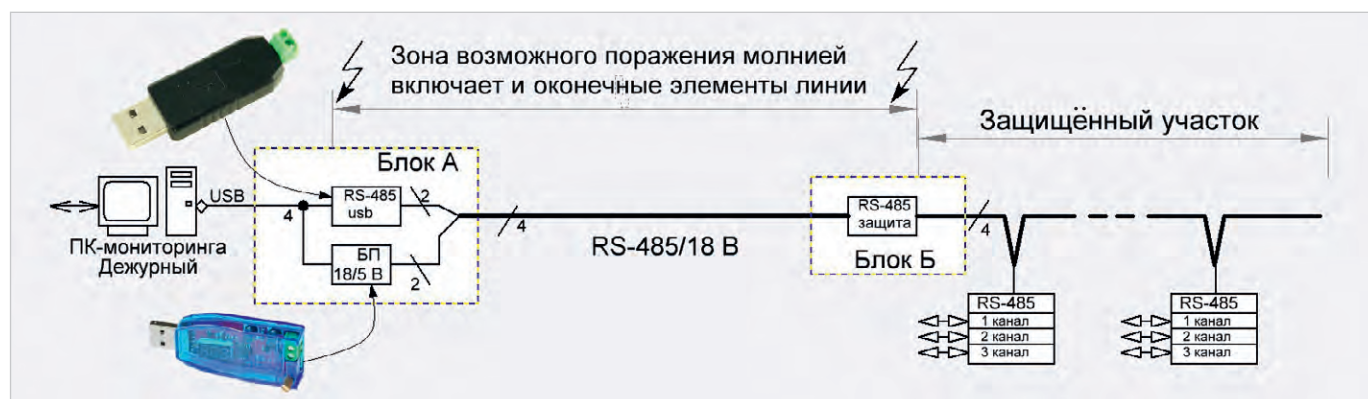


Рис. 1. Блочная схема защиты RS-485

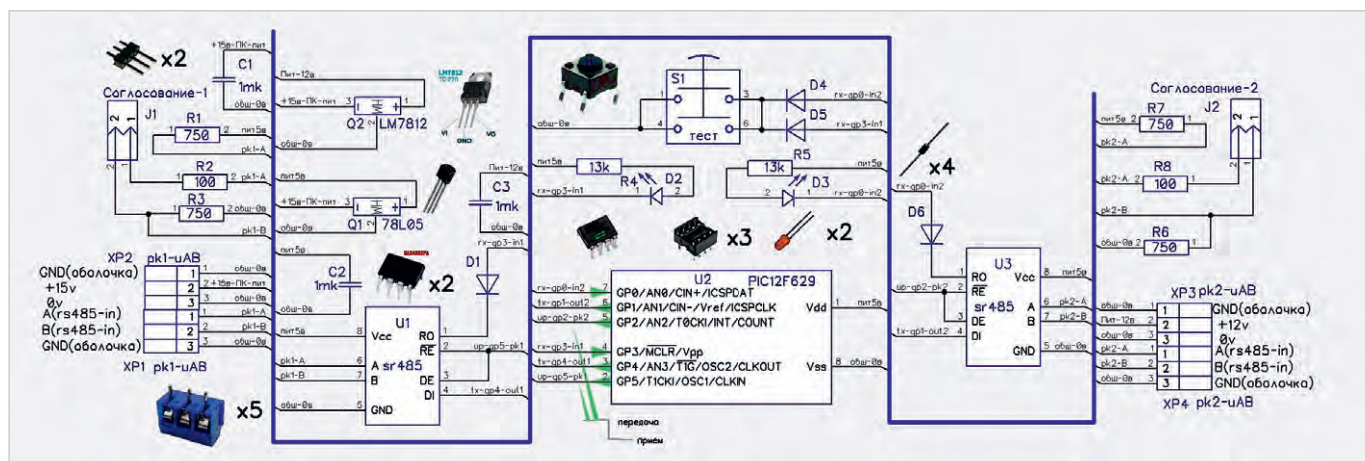


Рис. 2. Принципиальная схема защиты RS-485

что в большинстве случаев достаточно. Кроме того, для МК такая низкая скорость ретрансляции позволяет работать без кварцевой стабилизации от внутреннего RC-генератора на частоте 4 МГц. Допустимая скорость ретрансляции для работы МК с использованием RC-генератора не превышает 9600 бод;

- нажатием кнопки S1 (Тест) создаётся сигнал логического нуля одновременно на двух входах МК U2 GP0,3, что является признаком перехода к режиму тестов;
- индикацию нажатия и индикацию наличия входных сигналов выполняют светодиоды D2, 3. В режиме ретрансляции светодиоды индицируют попеременно и указывают на обмен по направлению от ПК в сторону блоков RS-485 (тройник) [6] и обратно. При нажатии кнопки S1 (Тест) индикация выполняется одновременно.

Конструкция схемы защиты

Все элементы расположены на печатной плате, которая имеет специальные пазы для установки на DIN-рейку. Элементы схемы допускаются заменить на любые отечественные или зарубежные аналоги.

Принципиальная схема и плата (файлы **grozazachita_v1.dch(dip)**) подготовлены в редакторе DIP-TRACE и могут извлекаться из тела программы [5]. Способ извлечения представлен в описании аналогичной авторской программы [6]. На плате предусмотрена установка элементов в DIP или SOIP исполнении. Все элементы с угрозами на повреждение подключаются через переходные колодки, что позволяет провести быструю замену при аварии.

Программное обеспечение схемы защиты

Подготовлено программное обеспечение на языке программирования FORTH. Используется авторский FORTH-АСЕМБЛЕР для семейства PIC 12/16, который находится также в теле программы [5]. Извлекается аналогично варианту, приведённому в источнике [6]. Файл **assmb_pik12f_v1.f** содержит мнемоники всех команд МК и структуры компиляции. Файл **grozazachita_12f629_v1.f** – это непосредственно текст программы, которая компилируется в hex-код.

При выполнении «извлечения» hex-код формируется в отдельном каталоге **grozazachita_12f629_v1** и может быть сразу же использован для программирования МК. Процесс извлечения из архива проиллюстрирован в ролике, выложенном в дополнительных материалах.

Поскольку МК работает от внутреннего RC-генератора, возникает ситуация больших погрешностей при работе в старт-стопном режиме. Как определить тактовый интервал скорости передачи? С этой целью после программирования hex-кодом и включения U2 в схему для работы вначале требуется «настроить» МК на требуемую скорость. В первую очередь передаётся последовательность кодов АТТ (x41 x54 x54) на требуемой скорости. МК измеряет тактовый интервал и проверяет переданную последовательность. В случае успеха определения кода и кодовой последовательности выдаётся ответный код ППЗУ U2. После этого программа переходит к режиму ретрансляции битной последовательности в режиме 8n1 на заданной скорости.

Подробное описание всех управляющих слов приведено в тексте программы **grozazachita_12f629_v1.f**.

Программа тестирования подготовлена в режиме АТ-команд, которые приведены в тексте программы **grozazapog_v1.f** и повторяют по структуре тест опроса тройников в источнике [6].

Программа содержит пояснения и комментарии по каждому разделу функционирования.

Выводы

Предложенная схема защиты интерфейса RS-485 позволяет перенести риск повреждения на один элемент системы и исключить доступ энергии молнии к другим элементам интерфейса. Заранее подготовленные запасные повреждаемые элементы обеспечивают персоналу возможность быстрого восстановления системы сбора данных.

Повреждаемые элементы диагностируются и заменяются без пайки и программирования. Использование микроконтроллера позволяет тестировать всю систему данных автономно.

Литература

1. Модуль грозозащиты ZRS-485 // URL: http://www.igur.by/docs/Grozozaschita_RS-485.pdf.
2. Модуль грозозащиты ГЗ-RS485-T // URL: <https://satro-paladin.com/catalog/product/91923/>.
3. Описание 12F629 // URL: http://catalog.gaw.ru/index.php?id=15426&page=component_detail.
4. Интерфейс RS-485 // URL: <http://composs.ru/chto-takoe-rs-485/>.
5. Программа и схема защиты RS-485 // URL: http://90.189.213.191:4422/temp/predohranim_rs485_v1/test/.
6. Шабанов А. «Тройник» для интерфейса 1-WIRE // Современная электроника. 2023. № 6. С. 24.



Модуль управления для производственных помещений на базе программируемого реле

Сергей Шишкин

В статье представлен модуль управления для производственных помещений, выполненный на базе программируемого реле ОВЕН ПР205. Модуль управления поддерживает функции, которые могут быть полезными при эксплуатации производственного помещения. Автор приводит развёрнутый алгоритм работы устройства, схемотехнику, схему подключения исполнительных устройств.

Целью данной публикации является демонстрация возможностей программируемого реле ПР205 для автоматизации промышленного здания или производственного помещения. На базе данного «цифрового кубика» с цветным IPS ЖКИ-дисплеем можно реализовать модуль управления (далее – устройство) со множеством полезных функций. Устройство выполнено на базе программируемого реле ОВЕН ПР205-24.1211.02.2.0 (далее – ПР205 или прибор).

ПР205 предназначен для построения простых автоматизированных систем управления технологическим оборудованием и программируется в среде Owen Logic на языке FBD.

Пользовательская программа записывается в энергонезависимую Flash-память прибора.

Прибор поддерживает следующие функции:

- работа в соответствии с программой, 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.

Представленное устройство имеет следующие основные функции:

- автономная охрана производственных помещений и других объектов от несанкционированных проникновений (охранное устройство);
- пожарная сигнализация;
- управление приточно-вытяжной вентиляцией;
- канал управления нагревом № 1 (двухпозиционное регулирование температуры);
- канал управления нагревом № 2 (ПИД-регулирование температуры);
- канал управления охлаждением № 2 (ПИД-регулирование температуры);
- управление актуатором в механизме открывания/закрывания люка (задвиги, фрамуги и пр.).

Более подробно работа ПР205 приведена в [1]. Для увеличения количества дискретных (аналоговых) входов и выходов в устройстве к ПР205 можно

подключать модули расширения типа ПРМ (до двух ПРМ к одному ПР205)). На рис. 1 показан внешний вид ПР205 с двумя подключёнными к нему модулями расширения ПРМ-24.1.

Принципиальная схема устройства с подключёнными выносными элементами представлена на рис. 2.

На рис. 2 приведена схема устройства, где к ПР205 подключён один ПРМ-24.1. Этого вполне достаточно для реализации функций, которые заложены в устройстве.

Элементы и компоненты устройства, приведённые на принципиальной схеме: реле ПР205 А1; модуль расширения ПРМ-24.1 А2; извещатель ВОЗ типа «Астра 5»; извещатели магнитоконтактные ВО1, ВО2 типа ИО102-26; извещатели пожарные ВП1 типа ИП212-4С; автомат защиты QF1. Сетевое напряжение 220 В поступает на устройство с соединителя XP1. Питающие напряжения +12 В, +24 В1, +24 В2 поступают на составные части устройства с соединителя XP2.

В устройстве предусмотрена одна независимая линия для подключения извещателя охранного объёмного оптико-электронного «Астра-5» исполнения А, ИО 409-10 (далее – датчик охраны Астра-5), две независимых линии для подключения охранных точечных магнитоконтактных извещателей ИО 102-26 исполнения 4 (далее – датчик охраны ИО 102-26), работающих на размыкание цепи, а также независимая линия для подключения пожарного извещателя ИП212-4С. Все вышеуказанные извещатели являются внешними (выносными) элементами по отношению к устройству. Кроме того, их к реле ПР205 можно по каждой линии подключать в шлейф. На принципиальной схеме приведено подключение к устройству только по одному датчику из каждой группы.

Датчик охраны Астра-5 исполнения А предназначен для обнаружения проникновения в охраняемое пространство закрытого помещения и формирования извещения о тревоге путём размыкания выходных контактов сит-



Рис. 1. Внешний вид программируемого реле ПР205 с подключёнными к нему двумя модулями расширения ПРМ-24.1

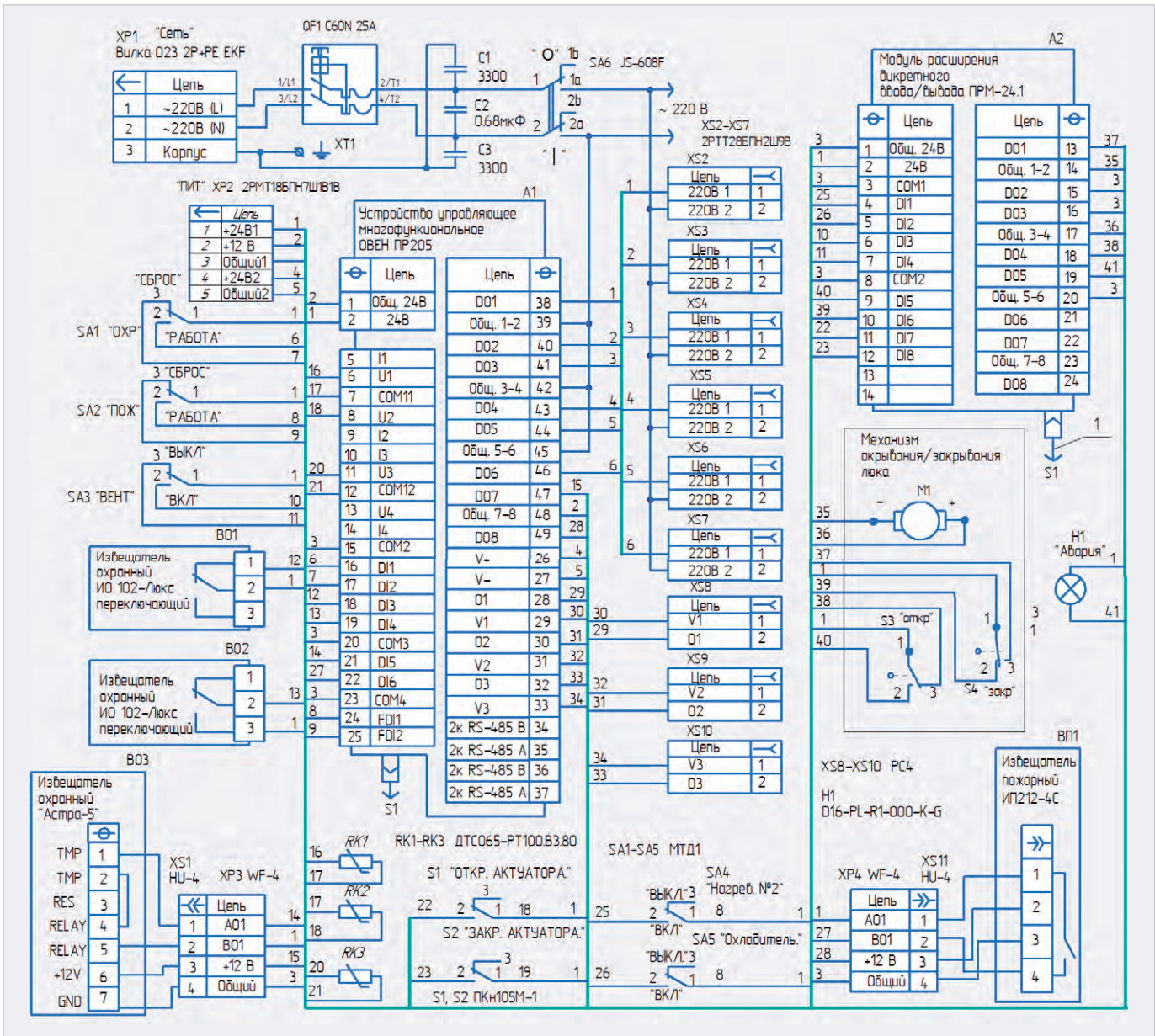


Рис. 2. Принципиальная схема устройства с подключёнными выносными элементами

нального реле. Принцип действия основан на регистрации изменений потока теплового излучения, возникающих при пересечении человеком зоны обнаружения, которая состоит из чувствительных зон. Каждая чувствительная зона состоит из двух элементарных чувствительных зон. Чувствительные зоны датчика формируются линзой Френеля и двухплощадочным пироэлектрическим приёмником излучения. Электрический сигнал с пироэлектрического приёмника поступает на микроконтроллер, который в соответствии с заданным алгоритмом работы формирует извещение «Тревога» размыканием выходной цепи оптоэлектронного реле. Назначение сигналов на колодке датчиком охраны «Астра-5» следующее: TMP – сигнал (выход реле, при снятой крышке

контакты реле разомкнуты), который при снятии крышки формирует извещение о тревоге независимо от включения питания датчика; RES – клемма для установки резистора; RELAY – выходы реле; +12V, GND – клеммы электропитания. Обозначение контактов на колодке дано условно. При выключенном электропитании, а также в дежурном режиме (одна минута после подачи электропитания) выходные контакты реле RELAY датчика охраны разомкнуты. Более подробное описание датчика охраны «Астра-5» приведено в [2].

Датчики охраны ИО 102-26 исполнения 4 предназначены для блокировки дверных и оконных проёмов, организации устройств типа «ловушка», а также блокировки других конструктивных элементов зданий и сооружений на открывание или смещение с выда-

чей сигнала «Тревога». Извещатель каждого исполнения конструктивно состоит из датчика магнитоуправляемого (датчика) на основе геркона и задающего элемента (магнита), выполненных в корпусах из пластика.

В устройстве задействован датчик ИО102-26 исполнения 4, тип геркона которого переключающийся. Под действием магнита контакт 2 размыкается с контактом 3 и замыкается с контактом 1. Более подробное описание датчика ИО102-26 приведено в [3]. Крепёжные отверстия извещателя сверху закрыты накладной декоративной крышкой. Есть мнение, что магнитоконтактные датчики можно легко обойти и проникнуть на охраняемый объект, не вызывая сигнала тревоги, используя внешний магнит. Однако это не так. Практика показы-

Таблица 1

Дискретный вход в ПР200	Дискретный вход в ПРМ-24.1	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение в устройстве	Примечания
DI1		I1	Подключение тумблера SA1 «ОХР»	Включение охранной системы
DI2		I2		Выключение охранной системы. Сброс сигнала «ВЗЛОМ»
DI3		I3	Подключение датчика ИО102 В01	Датчик охранной сигнализации, работающий на размыкание входной цепи
DI4		I4	Подключение датчика ИО 102 В02	Датчик охранной сигнализации, работающий на замыкание входной цепи
DI5		I5	Подключение охранного извещателя Астра-5 В03	Датчик охранной сигнализации для обнаружения проникновения в охраняемое пространство
DI6		I6	Подключение пожарного извещателя «ИП212» ВП1	Датчик системы пожарной сигнализации
FDI1		FI1	Подключение тумблера SA2 «ПОЖ»	Включение системы пожарной сигнализации
FDI2		FI2		Выключение системы пожарной сигнализации. Сброс сигнала «ПОЖАР»
	DI1	I1(1)	Подключение тумблера SA4 «НАГРЕВ № 2»	Включение/выключение системы нагрева № 2
	DI2	I2(2)	Подключение тумблера SA5 «ОХЛАДИТЕЛЬ»	Включение/выключение системы охлаждения
	DI3	I3(3)	Подключение тумблера SA3 «ВЕНТ»	Включение системы вентиляции
	DI4	I4(4)		Выключение системы вентиляции
	DI5	I1(5)	Подключение датчика положения S3	Датчик выдвинутого штока актуатора (датчик открытого люка)
	DI6	I2(6)	Подключение датчика положения S4	Датчик втянутого штока актуатора (датчик закрытого люка)
	DI7	I3(7)	Подключение кнопки S1	Кнопка открывания люка
	DI8	I4(8)	Подключение кнопки S2	Кнопка закрывания люка

Таблица 2

Аналоговый вход в ПР205	Аналоговый выход в ПР205	Обозначение в среде OWEN Logic	Функциональное назначение в устройстве	Примечания
U1		AI1	Подключение термопреобразователя сопротивления RK1	Датчик температуры для системы обогрева № 1
U2		AI2	Подключение термопреобразователя сопротивления RK2	Датчик температуры для системы обогрева № 2
U3		AI3	Подключение термопреобразователя сопротивления RK3	Датчик температуры для системы охлаждения
	V1	I4	Выходной сигнал 4–20 мА системы обогрева № 2	ПИД-регулирование
	V2	I5	Выходной сигнал 4–20 мА системы охлаждения	ПИД-регулирование

вает, что саботирование датчиков, применяемых на стальных конструкциях, вообще невозможно, так как магнитное поле внешнего магнита не может воздействовать на исполнительный элемент через сталь. У датчиков на неметаллических конструкциях толщина блокируемых дверных, оконных и иных конструкций часто превышает 35 мм. Это делает саму возможность саботирования сомнительной, так как для этого понадобятся сильные и громоздкие внешние магниты. Кроме того, большое поле такого магнита (при неудачном его ориентировании) может, наоборот, разомкнуть (замкнуть) геркон и вызвать сигнал тревоги. Если же возникают сомнения в возможности саботирования магни-

токонтактного датчика, есть несколько простых способов защиты. Один из них реализован в устройстве. Для увеличения степени защиты на одну дверь (окно, люк и пр.) устанавливается два датчика (В01 и В02). Один работает на замыкание, а другой на размыкание цепи. При этом нужно, чтобы у задающих элементов направления магнитных полей были одинаковыми. Извещатель ИП212-4С представляет собой автоматическое оптико-электронное устройство, осуществляющее сигнализацию о дежурном режиме работы (проблесковое свечение красного светодиода) и о появлении дыма в месте его установки, вызывающем срабатывание извещателя. При этом замыкаются контакты оптоэлектрон-

ного реле, включённые между сигнальными проводами, и возникает режим постоянного свечения красного светодиода. Принцип работы извещателя основан на сравнении электрического сигнала, пропорционального оптической плотности окружающей среды, с пороговым значением, формируемым схемой извещателя. У датчика ИП212 светодиод оптической системы вырабатывает световые импульсы, причём при отсутствии дыма на фотоприёмник попадает незначительное количество световой энергии, и усиленный сигнал фотоприёмника оказывается значительно ниже порогового значения. Схема вырабатывает сигнал низкого уровня, поддерживающий выходной

Таблица 3

Дискретный выход в ПР200	Дискретный выход в ПРМ-24.1	Обозначение в среде OWEN Logic.	Функциональное назначение выхода в устройстве	Примечания
D01		Q1	Включение исполнительного устройства в режиме «Охрана» при наличии сигнала «Тревога»	Постоянный сигнал
D02		Q2	Включение исполнительного устройства в режиме «Охрана» при наличии сигнала «Тревога»	Периодический сигнал с периодом 1 с
D03		Q3	Включение исполнительных устройств приточно-вытяжной вентиляции	
D04		Q4	Включение исполнительных устройств системы пожаротушения	
D05		Q5	Включение исполнительных устройств системы пожаротушения	Периодический сигнал с периодом 1 с
D06		Q6	Выходной сигнал для системы обогрева № 1 (управление нагревателем)	Двухпозиционное регулирование
D07		Q7	Включение питания +12 В для охранного извещателя «Астра-5»	
D08		Q8	Включение питания +12 В для пожарного извещателя «ИП-212»	
	D01	Q1(1)	Подача питающего напряжения +24 В для актуатора M1 при закрывании люка	Питающее напряжение подаётся через концевой выключатель S4
	D02	Q2(2)	Подключение актуатора M1 к выводу ОБЩИЙ1 при закрывании люка	
	D03	Q3(3)	Подключение актуатора M1 к выводу ОБЩИЙ1 при открывании люка	
	D04	Q4(4)	Подача питающего напряжения +24 В для актуатора M1 при открывании люка	Питающее напряжение подаётся через концевой выключатель S3
	D05	Q5(5)	Включение индикатора H1	Сигнал «Авария» в алгоритме работы актуатора

ключ в закрытом состоянии. При этом блок извещателя формирует импульсы длительностью около 5 мс с периодом $1 \pm 0,5$ Гц, обеспечивающие проблесковый режим свечения красного светодиода (дежурный режим работы извещателя). Контакты 1, 4 выходного соединителя датчика разомкнуты. При появлении дыма в оптической камере импульсы инфракрасного излучения, отражаясь от дымовых частиц, попадают на фотоприёмник, усиленный сигнал которого сравнивается с пороговым уровнем, и, если превышение над порогом повторяется пять раз подряд, схема регистрирует состояние «Пожар». При этом включается оптореле, контакты которого замыкаются, соответственно контакты 1, 4 выходного соединителя датчика замыкаются. Более подробное описание данного извещателя приведено в [4].

В табл. 1 приведено функциональное назначение дискретных входов реле ПР205 и модуля расширения ПРМ-24.1 в устройстве.

В табл. 2 приведено функциональное назначение аналоговых входов и выходов реле ПР205 в устройстве.

В табл. 3 приведено функциональное назначение дискретных выходов реле

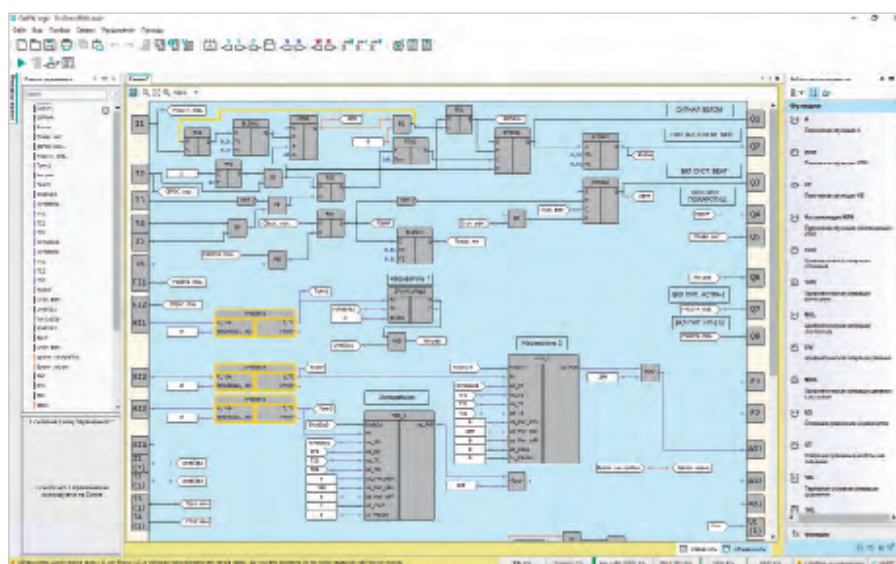


Рис. 3. Скриншот управляющей программы ПР205 в среде OWEN Logic

ПР205 и модуля расширения ПРМ-24.1 в устройстве.

В ПР205 выход DO1 может быть задействован для управления такими исполнительными устройствами, как соленоид электромагнитного замка, необходимый для дополнительной блокировки дверей, люков и прочего или для передачи сигнала на пульт оператора. Выход DO2 целесообразно задействовать для управления световой сигнали-

зацией (лампочки, световые полосы) или звуковой сигнализацией (ревун, сирена и пр.). Внешние исполнительные устройства подключаются к реле ПР205 через соединители XS2-XS10.

На рис. 3 приведён скриншот фрагмента управляющей программы реле ПР205 в среде OWEN Logic.

На скриншоте данной управляющей программы можно выделить следующие функциональные блоки:

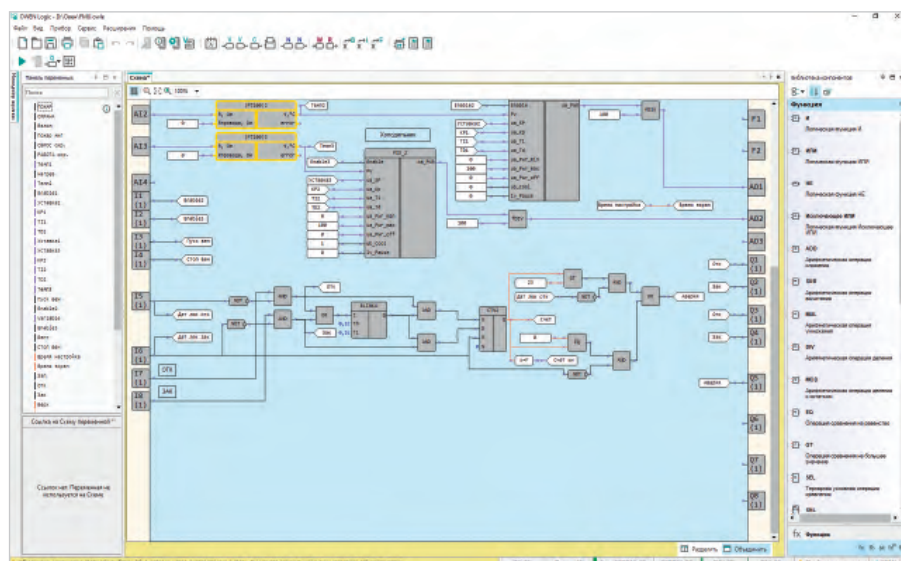


Рис. 4. Скриншот управляющей программы ПР205 в среде OWEN Logic для блока управления актуатором

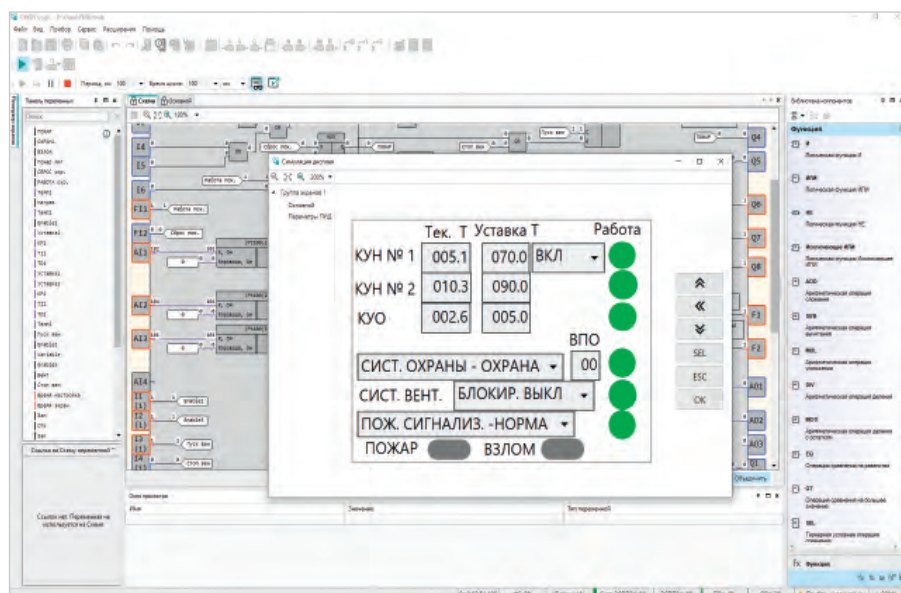


Рис. 5. Вид экрана «Основной» в режиме симуляции

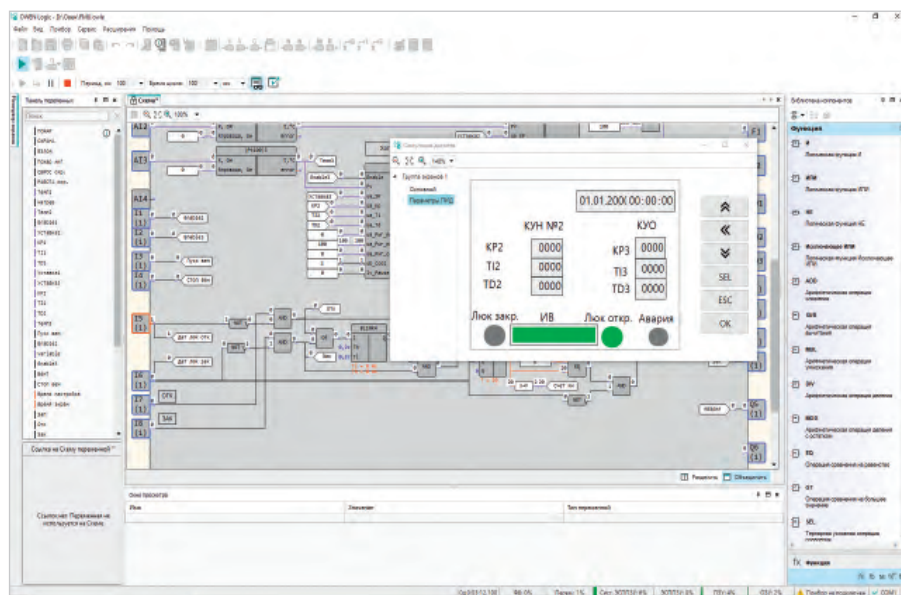


Рис. 6. Вид экрана «Параметры ПИД» в режиме симуляции

- блок охранной сигнализации;
- блок пожарной сигнализации;
- блок управления приточно-вытяжной вентиляцией;
- канал управления нагревом № 1;
- канал управления нагревом № 2;
- канал управления охлаждением.

На рис. 4 приведён скриншот фрагмента управляющей программы реле ПР205 в среде OWEN Logic для блока управления актуатором, который может быть применён в механизме открывания/закрывания люка.

Блок охранной сигнализации включает в себя следующие элементы: RS-триггеры RS1–RS3; таймер с задержкой включения TON1, D-триггер DTRIG1; генераторы импульсов BLINK1, BLINK2; универсальный счётчик CTN1, импульс включения заданной длительности TP1, а также логические элементы 2ИЛИ, НЕ, 2И.

Блок пожарной сигнализации включает в себя следующие элементы: RS-триггер RS4; генератор импульсов BLINK3, а также логические элементы ИЛИ, 2И.

Блок управления приточно-вытяжной вентиляцией включает в себя следующие элементы: D-триггер DTRIG2, логический элемент ИЛИ.

Канал управления нагревом № 1 осуществляет регулирование температуры по двухпозиционному закону и включает в себя: макрос (Pt100)1, макрос 2PosHisReg1, элемент 2И. Макрос (Pt100)1 преобразует сигнал по сопротивлению в реальные значения температуры. Макрос 2PosHisReg1 реализует функцию двухпозиционного регулятора.

Канал управления нагревом № 2 осуществляет ПИД-регулирование температуры и включает в себя: макрос (Pt100)2, макрос PID_1. Макрос PID_1 работает в режиме нагревателя.

Канал управления охлаждением осуществляет ПИД-регулирование температуры и включает в себя: макрос (Pt100)3, макрос PID_2. Макрос PID_2 работает в режиме холодильника.

Блок управления актуатором включает в себя: генератор импульсов BLINK4, универсальный счётчик CTN2, элемент операции сравнения на равенство EQ, элемент операции сравнения на большее значение GT, логические элементы 2И, 2ИЛИ, НЕ.

Интерфейс управления и контроля устройства включает в себя следующие элементы: тумблеры SA1–SA5; кнопки S1, S2. А также элементы управ-

ления графического цветного экрана ПР205. В ПР205 организованы два экрана: «Основной» и «Параметры ПИД». На рис. 5 приведён вид экрана «Основной» в режиме симуляции.

На рис. 6 в режиме симуляции приведён вид экрана «Параметры ПИД».

В табл. 4 приведены условные обозначения, приведённые на экранах «Основной» и «Параметры ПИД».

В правом верхнем углу экрана «Параметры ПИД» отображается время в формате: дата и время (DD.MM.YYYY, hh:mm:ss). SA1–SA5, S1, S2, H1 целесообразно разместить на отдельной панели управления рядом с ПР205. Автор не будет останавливаться на конкретной конструкции панели управления и устройства в целом.

Рассмотрим алгоритм работы блоков в управляющей программе устройства. Исходное состояние: сетевое напряжение 220 В поступает на соединитель XP1; питающие напряжения +12В и +24В1, 24В2 поступают на соединитель XP2 устройства; тумблеры SA1, SA2 установлены в положение «Сброс». Тумблеры S3–S5 установлены в положение «ВЫКЛ». После установки тумблера SA1 в положение «Работа» загорается индикатор зелёного цвета «РАБОТА» на экране «Основной» и запускается генератор импульсов BLINK1. Импульсы с генератора поступают на вход D (обратный счёт). При этом запускается процедура перехода в режим «Охрана». Начинается обратный отсчёт времени универсального счётчика CTN1 (время постановки под охрану ВПО – 60 с, отображается на экране «Основной»). За это время нужно покинуть помещение, закрыть двери, окна, то есть сдать помещение под охрану. Подается питающее напряжение на +12 В на извещатель «Астра-5». Он сразу после подачи питания выходит в дежурный режим. Длительность дежурного режима для данного датчика – 60 с. То есть интервал задержки для перехода в режим «Охрана» заведомо должен быть больше этого значения и задаваться под каждый конкретный тип датчика охраны, если у него имеется дежурный режим работы. После установки лог. 1 на выходе счётчика CTN1 устанавливается лог на ходе D D-триггера DTRIG1, устройство ставится под охрану (режим «Охрана»). При этом на экране «Основной» отображается «СИСТ. ОХРАНЫ – ВКЛ». При включении любого охранного извещателя из числа подключён-

Таблица 4

№	Условное обозначение	Функциональное назначение	Экран
1	КУН № 1	Канал управления нагревом № 1	«Основной»
2	КУН № 2	Канал управления нагревом № 2	«Основной», Параметры ПИД
3	КУО	Канал управления охлаждением	«Основной», Параметры ПИД
4	Тек. Т	Текущая температура	«Основной»
5	Уставка Т	Заданная температура	«Основной»
6	ВПО	Время постановки под охрану	«Основной»
7	КР2	Пропорциональный коэффициент для ПИД-регулятора КУН № 2	Параметры ПИД
8	ТИ2	Интегральный коэффициент для ПИД-регулятора КУН № 2	Параметры ПИД
9	ТД2	Дифференциальный коэффициент для ПИД-регулятора КУН № 2	Параметры ПИД
10	КР3	Пропорциональный коэффициент для ПИД-регулятора КУО	Параметры ПИД
11	ТИ3	Интегральный коэффициент для ПИД-регулятора КУО	Параметры ПИД
12	ТД3	Дифференциальный коэффициент для ПИД-регулятора КУО	Параметры ПИД
13	ИБ	Индикатор выполнения (индикатор процесса) открытия/закрытия люка	Параметры ПИД

ных к входам DI3–DI5 реле ПР205 на выходе регистра RS3 устанавливается лог. 1. Начинается обратный отсчёт времени таймера с задержкой включения TON1 (время задержки – 10 с). Как только заданное значение времени таймера с задержкой включения TON2 примет нулевое значение, на выходе D-триггера DTRIG1 установится лог. 1 (режим «Тревога»). При этом на экране «Основной» периодически мигает индикатор красного цвета «ВЗЛОМ». Для выхода из режимов «Охрана» или «Тревога» необходимо установить тумблер SA1 в положение «Сброс». Сигнализация перейдёт в режим «Взлом» также при размыкании контактов ТМР извещателя «Астра-5», то есть при попытке снять с него крышку.

Для приведения в состояние готовности блока пожарной сигнализации необходимо установить тумблер SA2 в положение «Работа». При этом на экране «Основной» отображается «ПОЖ. СИГНАЛ – НОРМА» и загорается индикатор зелёного цвета «РАБОТА». При срабатывании пожарного извещателя ИП212-4С на выходе регистра RS4 устанавливается лог. 1, который поступает на выход Q1 (включение системы пожаротушения). При этом на экране «Основной» периодически мигает индикатор красного цвета «ПОЖАР». Для выключения пожарной сигнализации необходимо тумблер SA2 установить в положение «Сброс». Для включения приточно-вытяжной вентиляции необходимо установить тумблер SA3 в положение «ВКЛ». При этом на экране «Основной» отобража-

ется «СИСТ. ВЕНТ – БЛОКИР. ВЫКЛ» и загорается индикатор зелёного цвета «РАБОТА». При срабатывании пожарной сигнализации работа приточно-вытяжной вентиляции блокируется: на экране «Основной» отображается «СИСТ. ВЕНТ – БЛОКИР. ВКЛ».

На рис. 7 приведён вид экрана «Основной» в режиме симуляции при срабатывании систем пожарной и охранной сигнализаций.

Включение канала управления нагревом № 1 осуществляется с экрана «Основной» в строке КУН № 1. В окне «Уставка Т» необходимо задать требуемую температуру. Для включения канала управления нагревом № 2 необходимо установить тумблер SA4 в положение «ВКЛ», а затем на экране «Основной» в строке КУН № 2 и в окне «Уставка Т» задать требуемую температуру.

Для включения канала управления охлаждением необходимо установить тумблер SA5 в положение «ВКЛ». На экране «Основной» в строке КУО и в окне «Уставка Т» необходимо задать требуемую температуру. На экране «Параметры ПИД» задаются коэффициенты ПИД-регулирования для КУН № 2 и КУО.

Рассмотрим алгоритм работы блока управления актуатором. Актуатор может быть задействован в различных механизмах и системах, например, в механизме открывания/закрывания люка или задвижки в системе вентиляции. Исходное состояние актуатора в механизме закрывания/открывания люка: люк закрыт, шток у актуато-

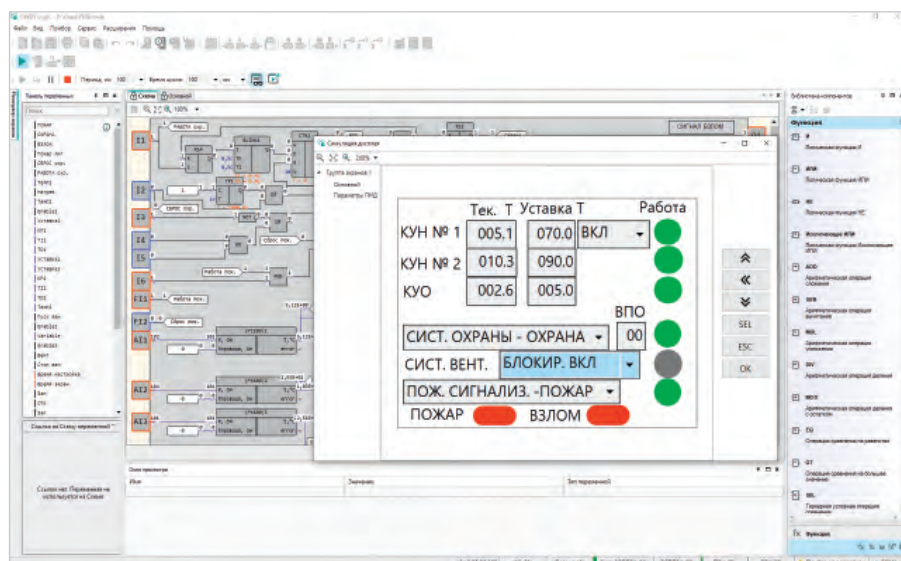


Рис. 7. Вид экрана «Основной» в режиме симуляции при срабатывании систем пожарной и охранной сигнализаций

ра втянут. На входе PPM-24.1 DI5 – лог. 0; входе PPM-24.1 DI6 – лог. 1. При нажатии на кнопку S1 запускается генератор импульсов BLINK4. Импульсы с него через элемент 2И поступают на вход U (прямой счёт) универсального счётчика CTN2. Начинается прямой счёт времени. Для открытия люка (выдвижение штока актуатора, который переводит люк из положения «закрыто» в положение «открыто») задан определённый интервал

времени (в управляющей программе – 23 с, контрольное время работы актуатора). Если за данный интервал работы люк не открылся (не закрылся), включается сигнал «Авария». Индикатор выполнения ИВ (полоска индикатора) на экране «Параметры ПИД» отображает положение открытия люка в процентах хода. При открытом люке: на входе PPM-24.1 DI5 – лог. 1; входе PPM-24.1 DI6 – лог. 0. При нажатии на кнопку S2 также запускается гене-

ратор импульсов BLINK4. Импульсы с него через элемент 2И поступают на вход D (обратный счёт). Если реальное время закрывания люка меньше, чем контрольное время работы актуатора, то лог. 0 на вход элемента 2И придёт раньше, чем лог. 1 с элемента операции сравнения на равенство EQ. Поэтому сигнал «Авария» не включится.

Контрольное время работы актуатора определяется конкретным механизмом открывания/закрывания люка. На рис. 6 приведён в режиме симуляции вид экрана «Параметры ПИД» при открытом люке и отображается информация о том, что люк открыт. Включён концевой выключатель «Люк. Откр». Индикатор выполнения ИВ отображает, что люк открыт на 100%.

Литература

1. Руководство по эксплуатации. Устройство управляющее multifunctionальное ПР205.
2. Руководство по эксплуатации. Извещатель охраннй объёмный оптико-электронный ИО 409-10 «Астра-5» Исполнение А.
3. Руководство по эксплуатации. Извещатель охраннй точечный магнитоконтактный. ИО 102 – «ЛЮКС» ПАШК.425119.080.
4. Извещатель пожарный ИП 212-4С ПАСПОРТ ЦФСК 425231.002-01 ПС.
5. URL: <https://www.owen.ru>.

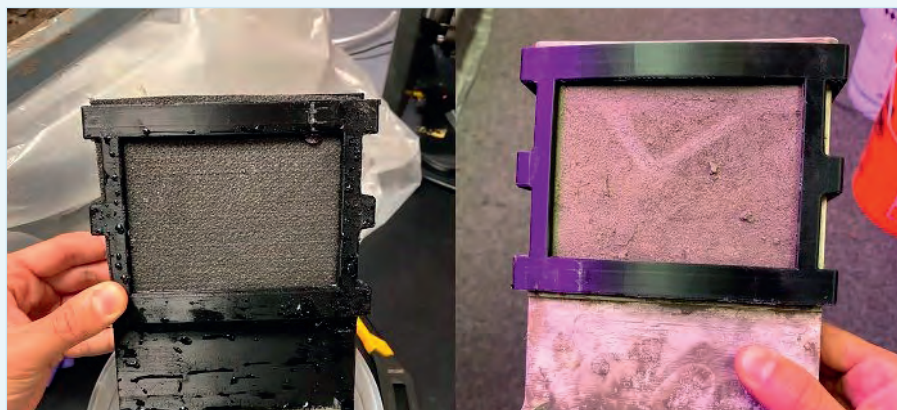
НОВОСТИ МИРА

Микробный топливный элемент позволит извлекать бесконечную энергию из грязи

Команда учёных из Северо-Западного Университета (США) разработала конструкцию нового топливного элемента, в основе которого лежит работа микробов. Данная технология известна уже более сотни лет, но практического применения до сих пор не находила. Во многом потому, что не было подходящих потребителей – устройств с минимальными затратами энергии.

Принцип действия микробного топливного элемента основан на переработке микроорганизмами углерода из почвы, побочным продуктом чего являются свободные электроны. Остаётся только подвести электроды и обеспечить микробам постоянный доступ к воде и кислороду. По сути – вкопать топливный элемент в грязь и не давать ей ни высохнуть, ни утонуть элементу.

В новой конструкции один из электродов углублен в грунт, второй выступает над его поверхностью, между собой они соеди-



нены каналом для подачи воздуха. Здесь предусмотрены защитные колпачки для предотвращения попадания грязи и гидрофобные вставки, которые гарантируют проходимость воздуха даже при затоплении конструкции. Сообщается, что она работает при уровнях влажности от 41% до 100% и вырабатывает в 68 раз больше энергии, чем прошлые версии.

Этот объём энергии всё равно крошечный и практически ни для чего не пригод-

ный, но инженеры нашли ему применение. Такие топливные элементы идеально подходят для снабжения энергией статических датчиков на фермерских хозяйствах, которые мониторят состояние почвы и окружающей среды. Земля, за которой они должны наблюдать, сама является для них источником энергии. При этом такой топливный элемент можно собрать из дешёвых компонентов из хозяйственного магазина.

Открытие квантовых точек и разработка технологии их массового производства.

Часть 1. Полупроводниковые наноматериалы с эффектом запрета перемещения зарядов по определённым направлениям

Виктор Алексеев

Нобелевская премия по химии в 2023 году была присуждена трём учёным за открытие и разработку технологий производства квантовых точек (Quantum Dots). Об этих удивительных полупроводниковых микрокристаллах уже была публикация в журнале «Современная электроника» № 3 за 2023 год. Данная статья посвящена конкретному вкладу каждого из трёх лауреатов в фундаментальное достижение в области квантовой химии и физики. В первой части статьи рассмотрены «Quantum Dots» с точки зрения завершающего элемента группы новых квантовых наноматериалов с ограничением переноса заряда по направлениям: квантовые плёнки – квантовые проволоки – квантовые точки. В этой части коротко изложена суть основных работ Алексея Екимова, которые явились основанием для присуждения ему Нобелевской премии. Во второй части будет рассмотрен вклад Луиса Брюса и Мунги Бавенди в разработку технологий массового производства квантовых точек, позволивших производить такие современные устройства, как, например, «телевизор на квантовых точках», визуальный монитор биологических процессов реального времени в клетках и многие другие.

Введение

Шведская королевская академия наук 2 декабря объявила о своём решении присудить Нобелевскую премию по химии 2023 года за открытие и синтез «Quantum Dots» следующим учёным, внёсшим выдающийся вклад в развитие квантовых наук (рис. 1) [1]:

- Алексей Екимов, родился в городе Ленинграде в 1945 году, работал в ФТИ им Иоффе, ГОИ имени Вавилова (СССР–РСФСР), в корпорации Nanocrystals Technology Inc, USA;
- Луис Брюс, родился в 1943 в Кливленде, США, профессор университета Columbia University, New York, NY, USA;
- Мунги Бавенди, родился в 1961 в Париже, Франция, профессор университета Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA.

Нобелевская премия по химии 2023 года была присуждена этим учёным за открытие и разработку нового типа искусственных полупроводниковых кристаллов, относящихся к общему классу «наноматериалов с эффек-

том КРЭ». Эти новые кристаллические структуры в настоящее время известны под названием «Quantum Dots – QD» (русский переводной термин – квантовые точки).

Вручение премий и праздничный банкет для лауреатов и гостей состоялись в Стокгольме в день памяти Аль-

фреда Нобеля, который умер 10 декабря 1896 года [3].

Следует подчеркнуть, что Нобелевский комитет неоднократно отмечал выдающиеся достижения в области нанотехнологий.

В 1965 году Нобелевская премия была присуждена основоположнику этого направления Ричарду Фейнману за фундаментальные работы по квантовой электродинамике, положившие начало разработкам наноразмерных объектов.

За открытие нового типа полиэдрических кластеров, состоящих из 60 и 70 атомов углерода, известных как «фуллерены», Роберту Кёрлу, Харольду Крото и Ричарду Смолли в 1996 году была присуждена Нобелевская премия по химии. Эти разработки явились базовыми для создания нового типа наноматериалов – углеродных нанотрубок.

В 2003 году Нобелевская премия была присуждена Алексею Абрикову, Виталию Гинзбургу и Энтони Легетту за исследование свойств квантованных вихрей, заложенных в основу технологии выращивания нанопроволок.

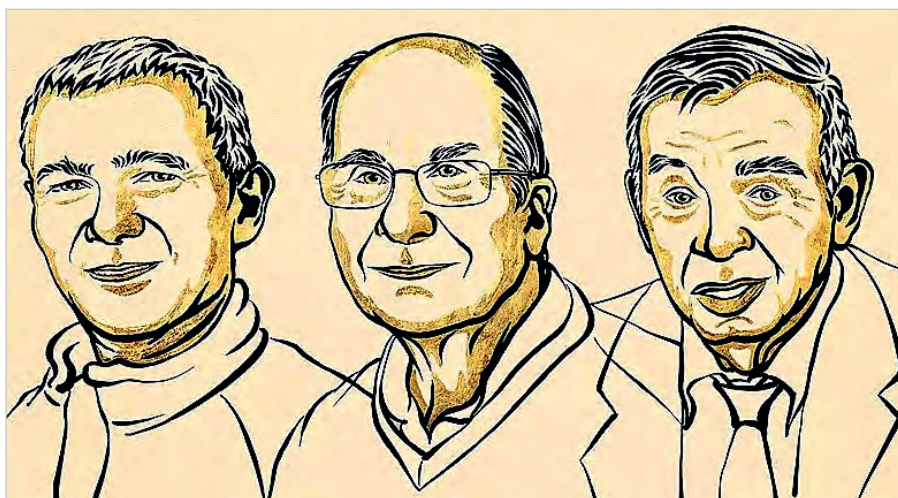


Рис. 1. Нобелевские лауреаты по химии 2023 года (слева направо: Мунги Бавенди, Луис Брюс, Алексей Екимов) [2]

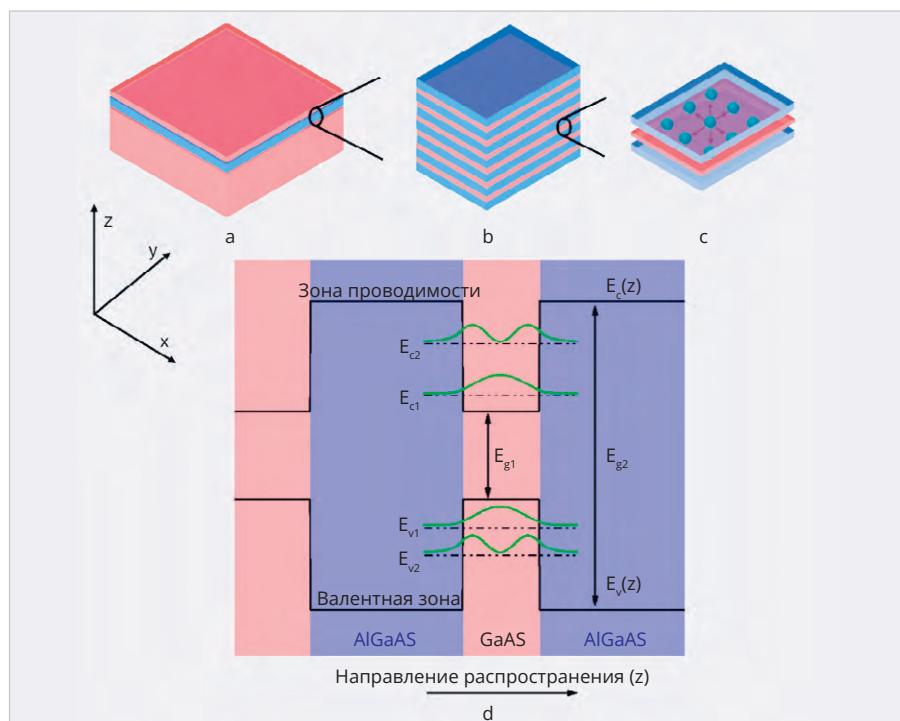


Рис. 2. Структура «QW» с множественными квантовыми ямами (Multiple Quantum Well structure – MQW): а) структуры с множественными квантовыми ямами; б) крупный план структуры MQW; в) двумерная топология перемещения зарядов в «Q-Well»; д) зонная структура квантовых ям

В 2010 году за открытие и исследование нового наноматериала «графена» Нобелевская премия была присуждена Константину Новосёлову и Андрею Гейму.

Квантово-размерные наноматериалы

Квантово-размерный (КРЭ) эффект (Quantum-Confined Effect – QCE) описывает изменение термодинамических, кинетических и оптических свойств кристалла, когда хотя бы один из его геометрических размеров становится соизмеримым с длиной волны де Бройля, определяющей длину свободного пробега носителей заряда. В частности, КРЭ связан с квантованием энергии носителей заряда, движение которых ограничено в одном, двух или трёх направлениях. Запрет на «свободное» перемещение носителей заряда принято оценивать с помощью «Degrees of Freedom – DOF».

Отдельная группа, включающая двумерные 2-DOF (Quantum Wells), одномерные 1-DOF (Quantum Wire, Carbon Nanotubes) и нульмерные 0-DOF (Quantum Dots) полупроводниковые микрокристаллы, получила название «квантово-размерные наноматериалы». Для этого класса перестают работать простые законы физики макроматериала, и расчёт их основных элек-

тродинамических параметров может быть выполнен только с использованием элементов квантовой механики.

Квантовые колодцы (Quantum Wells) и наноленты (2-DOF – Nanosheets) относятся к двумерным наноматериалам, которые представляют собой плоский отрезок кристаллической структуры, состоящий из одного слоя атомов или молекул определённого вещества, в которых перенос зарядов разрешён только в плоскости XY (индекс «2 DOF»).

В русскоязычной литературе также используется другой перевод термина «Nanosheets» – нанолент. Процесс переноса электронов в тонких наноплёнках часто называют «Two-Dimensional Electron Gas – 2DEG».

В материале квантовой плёнки электроны удерживаются в так называемых квантовых ямах «Quantum Well – QW» и не могут перемещаться в вертикальном направлении. Следует отметить, что в англоязычной литературе значение термина QW зависит от контекста. В смысле «квантовой плёнки» английский термин QW переводится, когда речь идёт о типе наноматериала. Термин «квантовая яма», который также является одним из вариантов перевода «Quantum Well – QW», означает энергетическую потенциальную яму, которая

ограничивает возможность движения частиц в одном из направлений системы координат (рис. 2).

Как правило, на практике используется схема, в которой квантовая плёнка, имеющая узкую запрещённую зону, размещена между двумя полупроводниками с широкой запрещённой зоной. На рис. 2 показана структура «QW» с множественными квантовыми ямами (Multiple Quantum Well Structure – MQW) для микрокристалла (Quantum Well) GaAs/AlGaAs, который выращен на подложке GaAs.

Тонкая плёнка GaAs с узкой зоной проводимости заключена между двумя полупроводниками с широкой зоной проводимости AlGaAs [4].

За последние десятилетия были получены различные варианты двумерных нанолент с толщиной в диапазоне от 0,4 до 5 нм, таких, например, как: дихалькогениды переходного металла (Transition Metal Dichalcogenide); чёрный фосфор (Black Phosphorus); дисульфид молибдена (Molybdenum Disulfide 2D-MoS₂) и другие. Нанометровая толщина этих структур накладывает запрет на перемещение электронов в вертикальном по отношению к плоскости кристалла направлении [5].

Особый интерес представляют двумерные монокристаллические наноматериалы, полученные на основе объёмного кристалла, известного под общим термином «MAX – Xenes» (MXenes).

Сделанные из карбидов и нитридов таких металлов, как титан, эти наноплёнки обладают хорошей проводимостью и большой объёмной ёмкостью. На сегодняшний день получены образцы многочисленных микрокристаллов класса «MXenes», среди которых можно назвать такие как борофен, силицен, германен, станен, фосфорен, арсенен, антимонен, висмутен и теллурен [6, 7].

Интерес к наноплёнкам особенно вырос после того, как в 2004 году учёные российского происхождения из Манчестерского университета Андрей Гейм и Константин Новосёлов впервые в мире получили в своей лаборатории уникальные образцы графена (Graphene) [8].

Возможность существования графена, который является двумерным кристаллом с гексагональной решёткой, состоящим из одного слоя атомов углерода, была теоретически предсказана ещё в 1947 году [9].

Графен обладает совершенно уникальными свойствами. Это самый тонкий нанолит, который имеет толщину всего 0,335 нм. Благодаря структуре из атомов углерода и такой толщине у графена зарегистрирована максимальная подвижность носителей заряда среди всех известных материалов. Это свойство может служить основанием возможной замены кремния на графен в интегральных микросхемах следующих поколений [10].

Нанолиты используются в серийном производстве транзисторов для микрочипов. Так, летом 2022 года компания Samsung сообщила о своей новой разработке полевого транзистора MBCFET™ (Multi-Bridge Channel Field Effect Transistor). Характерным отличием нового транзистора является то, что у него каналы в виде нанопроволоки заменены на двухмерные нанолиты (2-Dimensional Nanosheets) [11].

Нанопроволоки (Quantum Wires), нанотрубки и нанонити представляют собой одномерный тип квантово-размерных наноматериалов. В этих материалах носители заряда могут перемещаться только вдоль оси в одном направлении – индекс «1 DOF».

Один из вариантов углеродных нанотрубок (Carbon Nanotubes) представляет собой скрученные в цилиндр листы графена.

Диаметр таких трубок находится в диапазоне от десятых долей до нескольких единиц нанометров.

Поэтому их степень свободы – «1 DOF». Аналогично и нанонити или нанопроволоки, состоящие из нитевидных кристаллических структур с диаметром несколько нанометров, также имеют индекс «1 DOF». Отдельные элементы нанопроволоки, сплетённые между собой, получили название «Nanowhisker» – кристаллическое нановолокно.

На сегодняшний день достаточно хорошо изучены свойства различных видов нанопроволок, среди которых есть, например, металлические (Ni, Au), полупроводниковые (Si, InP, GaN, PtSi), а также молекулярные органические и неорганические нанонити.

В настоящее время нанопроволоки используются в новых образцах различных транзисторов.

В качестве примера можно привести лабораторную разработку транзистора типа «Gate All Around» (GAA)

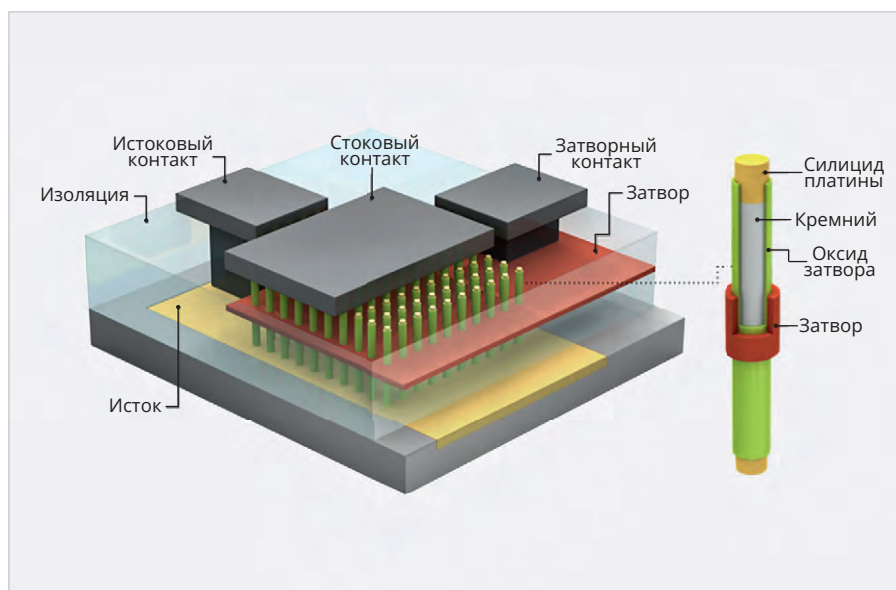


Рис. 3. Структурная схема транзистора типа «Gate All Around» (GAA) с вертикальными каналами Q-Wire [12]

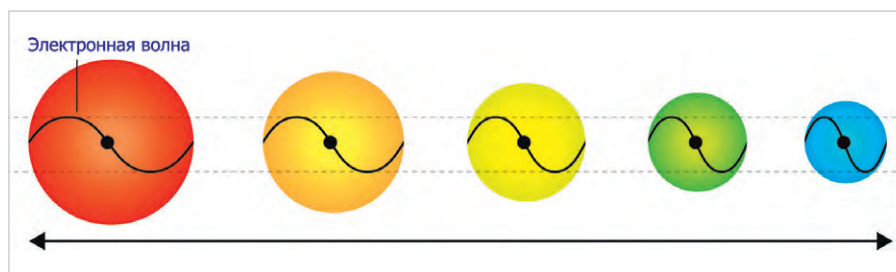


Рис. 4. Длина волны в спектре экситонного поглощения микрокристаллов CuCl смещается в зависимости от их размеров

с вертикальными Q-Wire – каналами на основе силицида платины (рис. 3). Конструктивно транзистор типа GAA состоит из набора полупроводниковых нанотрубок, управляемых одним общим для всех затвором.

Такая конструкция в принципе позволяет уменьшить габаритные размеры транзисторов до десятков нанометров. При этом подключённые параллельно транзисторные нанотрубки дают возможность работать с относительно большими токами [13].

Сила притяжения между электроном и дыркой в квантовой проволоке сильнее, чем в объёмном кристалле или в квантовом колодце. Поэтому здесь сильнее проявляются «кулоновские силы» [14].

Квантовые проволоки в настоящее время нашли применение в качестве проводящих каналов в самых современных микрочипах и квантовых сенсорах [15].

Одно из наиболее перспективных направлений, в которых могут быть использованы квантовые проволоки, связано с квантовой фотоникой и

длинноволновыми квантовыми проводящими GaInAsP/InP-лазерами [16].

Квантовые точки (Quantum Dots), имеющие нулевую степень свободы 0-DOF, были впервые получены в 1981 году в лаборатории ГОИ имени Вавилова российскими физиками Алексеем Екимовым и Алексеем Онущенко. Первые результаты они опубликовали на русском языке в российском журнале «Письма в ЖЭТФ» [17]

В этой статье описывались уникальные квантовые свойства микрокристаллов хлорида (меди CuCl) с размерами несколько десятков ангстрем, выращенных в прозрачной диэлектрической матрице.

В дальнейшем, из уважения к нобелевским лауреатам, мы будем придерживаться именно той терминологии, которую они употребляли в своих основополагающих статьях.

Алексей Екимов с коллегами обнаружили, что в спектрах поглощения существует зависимость длины волны пика от размеров полупроводниковых микрокристаллов, обусловленная «квантовым размерным эффектом».

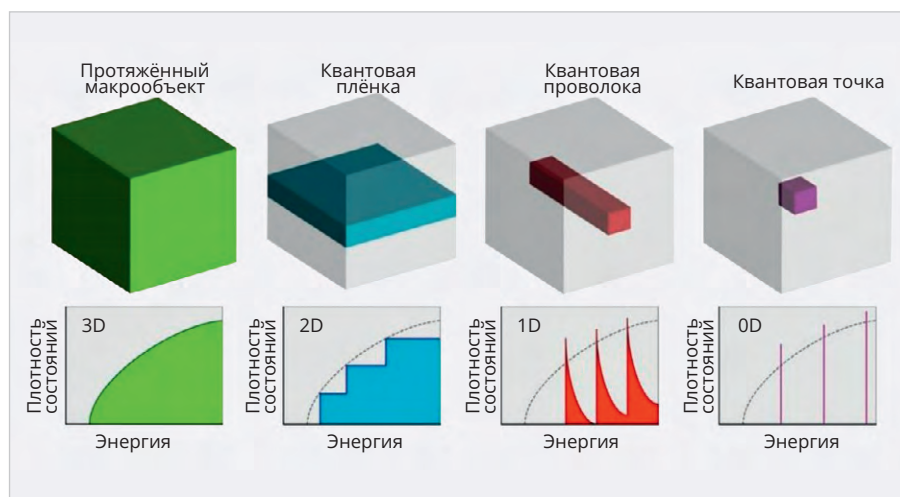


Рис. 5. Примеры зависимости от энергии плотности состояний электронов в случаях: протяжённого макробиъекта (Bulk); квантовой плёнки (Quantum Well); квантовой проволоки (Quantum Wire); квантовой точки (Quantum Dot)

Суть открытия Алексея Екимова заключается в том, что он впервые получил микрокристаллы CuCl, «упакованные» в стеклянную матрицу, у которых наблюдался ярко выраженный квантово-размерный эффект. В этих образцах спектр экситонного поглощения смещался в зависимости от размеров микрокристаллов. При уменьшении размеров кристаллов от 310 до 25 Å (ангстрем) спектр сдвигался в сторону более жёсткого ультрафиолетового излучения. Самое простое объяснение этого эффекта заключается в том, что электронная волна ограничена диаметром шароподобного кристалла (рис. 4).

Более подробно о работах Алексея Екимова будет сказано в следующем разделе.

Следует подчеркнуть, что термин «Quantum Dots» впервые ввёл в обращение Mark Reed в статье, опубликованной в 1986 году в журнале «Journal of Vacuum Science & Technology» [18].

Марк Рид на пять лет позже Алексея Екимова «обнаружил» эффект ограничения распространения носителей заряда по всем трём направлениям в полученных им микрокристаллах GaAs–AlGaAs. По всей видимости, Марк Рид не был знаком с работами Алексея Екимова. Во всяком случае, в своей статье он не ссылается ни на работы Екимова (1981, 1985), ни на работы Луиса Брюса, который впервые синтезировал обособленные коллоидные микрокристаллические структуры с ограничением 0-DOF в 1983 году. Вероятно, поэтому Марк Рид придумал своим микрокристаллическим структурам новое имя «Quantum Dots», кото-

рое прижилось в американских научных журналах, а потом укоренилось и в других странах.

Позднее в русскоязычной литературе стали использовать один из десятков возможных вариантов перевода термина «Quantum Dot» как «квантовая точка».

Отметим также, что Нобелевская премия 2023 года по химии в какой-то степени завершает серию, поощряющую открытия трёх основных видов наноматериалов, демонстрирующих квантовый размерный эффект. В результате все три типа этих полупроводниковых микрокристаллов – 2-DOF, 1-DOF, 0-DOF были отмечены Нобелевской премией.

Зависимость плотности состояний от энергии в случаях протяжённого макробиъекта (Bulk), квантовой плёнки (Quantum Well), квантовой проволоки (Quantum Wire) и квантовой точки (Quantum Dot) показаны на рис. 5 [19].

Плотность состояний (Density of State – DOS) является одной из важных характеристик квантово-механических систем, определяющих количество энергетических уровней электронов в единичном интервале энергий.

На свойства DOS большое влияние оказывает зонная структура материала. Например, свободные электроны в металлических макробиъектах имеют трёхмерную евклидову топологию (рис. 5, а). В этом случае перемещение носителей заряда не ограничено по направлениям внутри кристалла и зависит от внешнего электромагнитного поля. Плотность состояния в мас-

сивных кристаллах (Bulk) экспоненциально растёт с энергией.

Для квантовых листов энергия электронов квантуется в соответствии с переходами через запрещённые зоны. Поэтому график зависимости DOS от энергии выглядит как нарастающая ступенчатая кривая (рис. 4).

Кривая на рис. 4 показывает, что зависимость плотности состояний (Density of States – DOS) от энергии электронов носит для квантовой проволоки характер мгновенно нарастающих импульсов с плавным спадом до нуля ниже края зоны проводимости (Edge of Conduction Band – EC).

Для квантовых точек плотность состояний выглядит как обособленные очень узкие энергетические выбросы (рис. 5, d).

Моделирование процессов в квантово-размерных наноматериалах использует крайне сложный метаматематический аппарат, доступный только узким специалистам.

Поэтому, не вдаваясь в подробности, отметим, что витиеватые квантово-механические концепции позволяют на уровне возможной вероятностной модели объяснить некоторые явления квантовой физики, такие, например, как: электронную структуру сложных молекул и кристаллических материалов; дисперсии энергетических зон; образование запрещённых зон; происхождение полупроводниковых или изолирующих свойств в объёмных материалах [20].

Подобные модели имеют важное прикладное значение и используются для расчётов режимов работы таких устройств, как современные диоды с ударно-лавинным временем прохождения (Impact Avalanche Transit Time – IMPATT) [21].

Более подробную информацию о теоретических аспектах переноса зарядов в квантовых проволоках можно найти, например, в объёмной монографии, доступной на сайте [22].

Говоря о моделировании процессов в наноматериалах, нельзя не упомянуть о том, что в настоящее время существуют различные теоретические подходы к этой проблеме. Например, среди физиков-теоретиков уже давно идёт дискуссия о том, как трактовать классический подход «Ферми-жидкости», если он встречает серьёзные противоречия при попытках объяснения взаимодействия электронов в квантовых проволоках. Например, обычно

используемая модель «Ферми-жидкости» теряет применимость в одномерном случае квантовой проволоки при перемещении электронов только в одном направлении. Так, например, не поддаётся описанию с помощью классического подхода эффект квантования проводимости квантовых проволок при низких температурах в единицах, кратных $2e^2/h$.

Поэтому в последнее время физики вспомнили о теории Томонаги–Латтинжера, которая была предложена ещё в 1950 году [23].

Это сложный теоретический вопрос, выходящий за рамки тематики данной статьи. Более подробную информацию можно найти, например, в работе [24].

В 1981 году Алексей Екимов открыл полупроводниковые микрокристаллы с ограничением движения носителей заряда по трём направлениям. Первые реальные образцы полупроводниковых микрокристаллов в стеклянной матрице с ярко выраженным квантово-размерным эффектом получила группа Алексея Екимова в 1980–1981 гг. в лаборатории лазерных стёкол Государственного Оптического Института им. С.И. Вавилова.

Как было сказано выше, только несколько лет спустя американский физик Марк Рид назвал эти кристаллы «Quantum Dots» (квантовые точки).

Алексей Екимов получил высшее образование на кафедре молекулярной физики в Ленинградском государственном университете. Эту кафедру возглавлял в то время знаменитый учёный Е.Ф. Гросс, открывший спектры экситона в полупроводниковых кристаллах (экситон Ванье Мотта Гросса). В 1967 году после окончания университета А. Екимов был распределён в ФТИ им. Иоффе, где занимался под руководством академика Б.П. Захарчени исследованиями, связанными с оптической ориентацией в полупроводниках.

Работы по теоретическому исследованию процессов в полупроводниках были начаты в ФТИ имени Иоффе ещё 70 лет назад, когда академик И.М. Лифшиц теоретически обосновал возможность проявления квантово-размерного эффекта.

В 1974 году Алексей Екимов защитил кандидатскую диссертацию на тему «Оптическая ориентация спинов носителей в полупроводниках». В 1977 году ему предложили должность старшего научного сотрудника в ГОИ

имени Вавилова, где он вместе со своим младшим помощником Алексеем Онущенко начал заниматься проблемой легирования оптических фильтров с регулируемой частотой среза. Одним из ранних достижений в этих исследованиях были оптические фильтры, изменявшие цвет под действием ультрафиолетового излучения (УФ).

Ещё в 1930-х годах Герберт Фрелих впервые высказал идею о том, что поведение электронов в материале может зависеть от размеров микрочастиц [25].

К началу 1980-х были неоднократно экспериментально доказаны и теоретически обоснованы проявления квантового размерного эффекта в тонких плёнках, слоистых кристаллах и квантовых трубках [26, 27].

Однако это были протяжённые квантовые материалы со степенями свободы 2-DOF и 1-DOF. И только лишь в 1981 году Алексею Екимову удалось получить микрокристаллы с ограничением 1-DOF, обладавшие эффектом КРЭ [17]. В этой работе, опубликованной в журнале «Письма в ЖЭТФ», том 34/6, 1981 год, описаны эксперименты с многокомпонентными силикатными стеклами, в исходный состав которых в процессе приготовления вводились медь и хлор.

Рутинная работа состояла в том, что определялись значения оптической плотности образцов, полученных при различных температурах нагрева в диапазоне от 500°C до 700°C. Кроме того, время нагрева варьировалось от 1 часа до 96 часов. Спектры были измерены на образцах толщиной около 0,1 мм с помощью двухлучевого спектрофотометра фирмы «Перкин – Элмер – 555».

В процессе этих экспериментов было обнаружено, что в области прозрачности стеклянной матрицы проявляются характерные спектры экситонного поглощения кристаллов хлорида меди CuCl, образовавшиеся при фазовом распаде за время термообработки.

Авторы отмечают, что поскольку в полупроводниковой фазе частички CuCl находились в жидком состоянии при температуре плавления монохлорида меди 440°C, то под действием сил поверхностного натяжения при остывании образовывались микрокристаллы в форме, близкой к сферической.

Размеры микрокристаллов были измерены с помощью методики малого углового рентгеновского рассеяния в приближении монодисперсных сферических частиц. Было установлено,

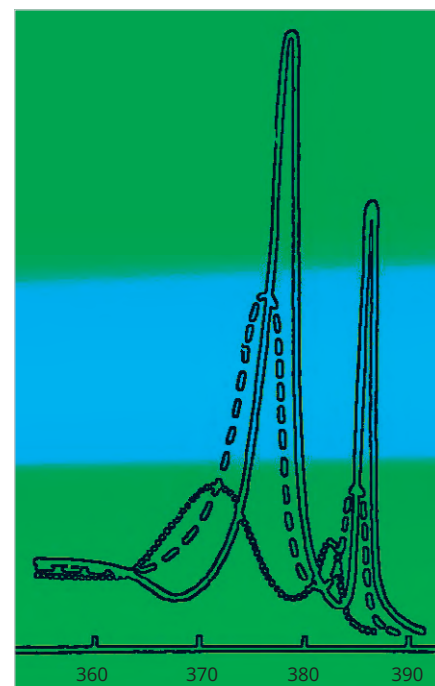


Рис. 6. Спектры поглощения, полученные при криогенных температурах 4,2К для образцов микрокристаллов CuCl с различными размерами: верхний рисунок – радиус шарообразного микрокристалла 310 Å; средний рисунок – радиус шарообразного микрокристалла 100 Å; нижний рисунок – радиус шарообразного микрокристалла 25 Å

что температура и время обработки исходной смеси однозначно определяют размеры микрокристаллов. Это даёт возможность получать подобные полупроводниковые микрокристаллы любого заранее заданного размера.

На рис. 6 показаны стилизованные спектры поглощения, полученные при криогенных температурах 4,2К для образцов микрокристаллов CuCl с различными размерами.

На рис. 6 по оси абсцисс отложена длина волны. Ось ординат соответствует оптической плотности (Optical Density – OD), которая определяется как десятичный логарифм величины пропускания в процентах.

Для образца с наибольшим радиусом (310 Å) наблюдаются ярко выраженные максимумы 3785 Å и 3865 Å. Эти значения близки к спектрам, полученным недавно для тонких плёнок CuCl [28].

Как следует из графиков спектров поглощения, приведённых в этой работе, образец с радиусом 100 Å имел максимумы 3758 Å и 3849 Å. Микрокристаллы с наименьшим из рассмотренных радиусов 10 Å проде-

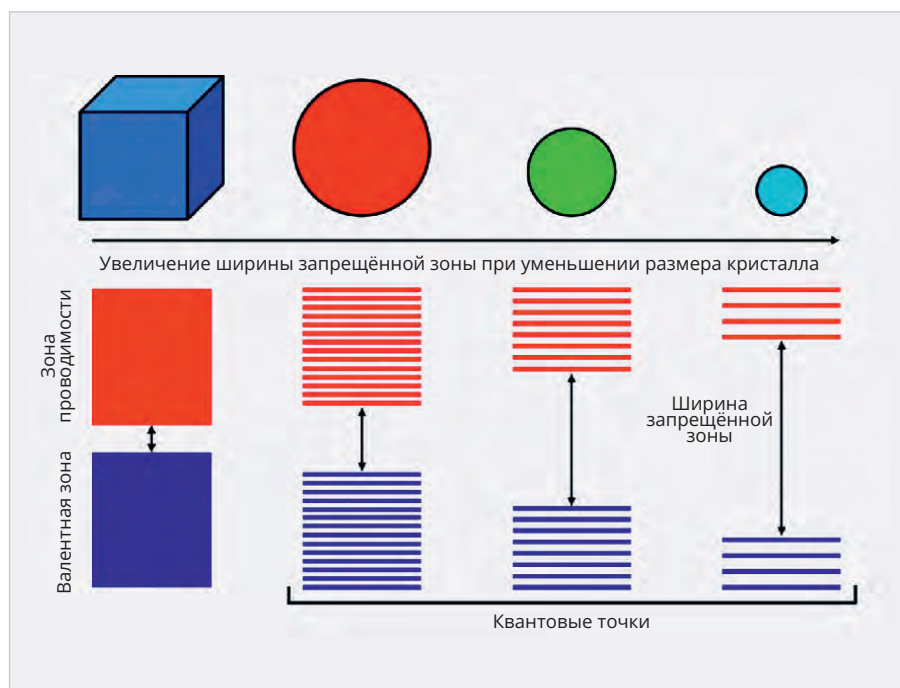


Рис. 7. Зоны проводимости в макрообъекте (Bulk) и в полупроводниковых микрокристаллах (Q-Dot) [30]

монстрировали максимумы спектра поглощения с длинами волн 3715 Å и 3823 Å. Таким образом, отчётливо видно, что максимумы спектров поглощения смещаются к фиолетовой области по мере уменьшения радиуса шарообразных микрокристаллов CuCl.

Оптическая плотность на рис. 6 для максимальных значений образцов с радиусом 310 Å, 100 Å, 25 Å составляет соответственно 2,9 OD, 1,8 OD и 0,8 OD (округлённо).

В этих экспериментах Алексей Екимов вместе со своими сотрудниками получили уникальный результат, достойный Нобелевской премии, заключающийся в том, что длины волн света, соответствующие максимуму экситонного поглощения, зависели от среднего радиуса микрокристаллов CuCl в стеклянной матрице.

Поскольку это крайне важный момент, обнаруженный Алексеем Екимовым, целесообразно пояснить смысл этого «экситонного поглощения». Экситон в энергетическом понимании квантовой механики характеризует электронное возбуждение (excito), мигрирующее по кристаллу и не связанное с переносом электрического заряда и массы. В этом плане экситон представляет собой нечто наподобие связанного состояния электрона и дырки. Это чисто условное понятие квантовой механики, введённое российским физиком Яковом Френкелем в 1931 году для того, чтобы упростить

описание сложных процессов переноса заряда в кристаллических структурах [29].

В процессе экситонного поглощения электрон и дырка переходят в возбуждённое состояние, но остаются связанными друг с другом за счёт кулоновского взаимодействия.

Как отмечалось выше, Алексей Екимов, являясь высококвалифицированным физиком, знающим предысторию квантовых материалов, провёл серию экспериментов, позволивших оценить функциональную зависимость спектрального положения линий экситонного поглощения от среднего радиуса полученных шарообразных микрокристаллов CuCl.

Как оказалось, величина коротковолнового сдвига максимума в спектре поглощения обратно пропорциональна радиусу микрокристалла. Чем больше радиус микрокристалла, тем меньше сдвиг максимума спектра в фиолетовую область.

В самом грубом приближении этот эффект можно объяснить, используя простейшую модель переноса заряда в полупроводниках, получившую название «Particle in Box – PiB» (частица в потенциальной яме) [29].

В тех случаях, когда электрон заключён внутри микроскопического шарика (Box) с радиусом R, сравнимым с длиной волны де Бройля, согласно модели PiB, его разрешённые энергетические уровни ограничиваются собственны-

ми состояниями волновой функции, зависящими от R. При этом расстояние между уровнями обратно пропорционально квадрату радиуса.

В полупроводниковом микрокристалле электроны (экситоны) оказываются запертыми в потенциальной яме, «стенками» которой служит поверхность микрокристалла (рис. 7).

В массивном полупроводнике электронные уровни атомов образуют валентную зону (VB) и зону проводимости (CB). При уменьшении размеров микрокристаллов количество атомов в них уменьшается, что обуславливает сокращение числа дискретных энергетических уровней. Как следствие, увеличивается ширина запрещённой зоны. Чем меньше радиус микрокристалла, тем шире становится запрещённая зона и жёстче поглощаемое излучение.

Таким образом, Алексей Екимов и его сотрудники впервые в мире целенаправленно создали полупроводниковые нанокристаллы, которые демонстрировали квантовые эффекты, зависящие от их размера. Эти структуры, состоящие из десятков тысяч атомов, обладали в комплексе ярко выраженными квантовыми свойствами со степенью свободы (0-DOF).

Наибольшую известность Алексею Екимову принесла другая статья, опубликованная в одном из самых авторитетных в мире научных журналов в области физики твёрдого тела «Solid State Communications» [31].

В этой статье была более подробно описана технология выращивания полупроводниковых микрокристаллов в стекловидной диэлектрической матрице. Также были добавлены результаты исследований других полупроводниковых микрокристаллов.

В частности, были проанализированы полученные при криогенных температурах спектры поглощения полупроводниковых кристаллов CuCl, CdSe, CdS, CuBr, выращенных в стеклянных матрицах. Для всех типов исследованных образцов наблюдался сдвиг экситонных линий и границы поглощения (Fundamental Absorption Edge) в зависимости от размеров микрокристаллов (квантово-размерный эффект).

Кроме того, в этой статье появился ещё один автор – российский физик-теоретик Александр Эфрос, который очень элегантно интерпретиро-

вал полученные экспериментальные результаты с точки зрения существовавшей на тот момент времени квантовой концепции переноса заряда в полупроводниках и микрокристаллах. Следует подчеркнуть, что интерпретация поведения зарядов в подобных объектах не является тривиальной задачей.

По сути, создание микрокристалла начинается с нескольких атомов, к которым затем присоединяются другие атомы или молекулы. На начальных стадиях этого процесса доминируют законы квантовой механики. По мере роста кристалла проявляются более общие свойства, присущие физике макромира. В результате полупроводниковые микрокристаллы, состоящие из сотен тысяч атомов, представляют собой некоторое промежуточное состояние вещества. С одной стороны, это уже не отдельные атомы, подчиняющиеся законам физики элементарных частиц, а с другой – это ещё и не массивные объекты макромира, для которых можно пренебречь связями между отдельными частицами и использовать простые законы общей физики. Поэтому для описания их поведения применяются специальные методики, включающие элементы квантовой механики.

В основном по этим двум статьям был определён приоритет Алексея Екимова в номинации на Нобелевскую премию 2023 года [32].

Позже было опубликовано ещё множество его статей на эту тему [33, 34, 35]. Работы Алексея Екимова вызвали огромный интерес и признание как в России, так и за рубежом. В 1989 году Алексей Екимов защитил докторскую диссертацию на тему «Квантовые размерные явления в полупроводниковых микрокристаллах».

По словам Алексея Онищенко, его руководитель Алексей Екимов организовал в ГОИ очень мощную, хорошо оснащённую научную лабораторию.

Достаточно сказать, что уже к началу 1980-х в их лаборатории было такое уникальное оборудование, как, например: английский продувной криостат фирмы Oxford, позволявший проводить измерения при низких температурах, вплоть до 4 градусов Кельвина; спектрофотометр фирмы Perkin Elmer; американский криптоновый лазер Spectra Physics и

многие другие образцы импортного оборудования.

После распада СССР в январе 1993 года Государственный Оптический Институт был преобразован в ФГУП «НИТИОМ ВНЦ ГОИ» со всеми вытекающими правами новых собственников. Это означало прекращение государственного финансирования и практически полную остановку всех фундаментальных научных исследований, не приносящих коммерческой выгоды. В эти годы были закрыты многие научные лаборатории, а их сотрудники оказались на улице [36].

Алексей Онущенко перешёл в другую лабораторию, а Алексей Екимов в 1999 году принял приглашение от американской корпорации Nanocrystals Technology Inc. Проработав там двадцать лет в должности главного научного сотрудника, он в 2019 году вышел на пенсию. При этом Алексей Екимов продолжал заниматься научной и преподавательской деятельностью. Был приглашённым профессором в Политехнической школе в Париже, в Лионском университете имени Клода Бернара, в Институте Макса Планка и в Университете Осаки.

Нужно отметить, что, несмотря на значимость открытия Алексея Екимова, его практическое применение ограничивалось тем, что квантовые микрокристаллы CuCl были «заморожены» в стекле и могли использоваться только для дальнейшего исследования оптических и других свойств в лабораторных условиях. К сожалению, их нельзя было высвободить из стеклянной матрицы и использовать в других устройствах. Эту проблему решили два других номинанта Нобелевской премии 2023 года Луис Брюс и Мунги Бавенди. Именно они разработали технологию массового производства коллоидных «Quantum Dots».

Литература

- URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/>.
- URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2023/advanced-information/>.
- URL: <https://www.youtube.com/watch?v=IDIA7cfNk8A>.
- URL: https://www.researchgate.net/figure/The-typical-illustration-of-a-multiple-quantum-well-structure-MQW-a-The-multiple_fig3_348894632.

- URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386947721000734>.
- URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666675822001230>.
- URL: <https://www.nanowerk.com/mxene.php>.
- URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1102896>.
- URL: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.71.622>.
- URL: <https://doi.org/10.1016/j.physe.2007.06.020>.
- URL: <https://bit.ly/48mVfXW>.
- URL: <https://spectrum.ieee.org/nanowire-transistors-could-keep-moores-law-alive>.
- URL: <https://www.thekurzweillibrary.com/nanowire-transistors-could-keep-moores-law-alive>.
- URL: <https://bit.ly/3TyVgnt>.
- URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.analchem.0c04476#>.
- URL: https://www.researchgate.net/publication/224502836_GaInAsPInP_quantum_wire_lasers.
- URL: http://www.jetpletters.ru/ps/1030/article_15644.pdf.
- URL: <https://bit.ly/3NZ5j1J>.
- URL: <https://bit.ly/3RDxKUN>.
- URL: https://www.worldscientific.com/doi/epdf/10.1142/9789812705709_0001.
- URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10825-016-0894-2>.
- URL: <https://bit.ly/41DT7Ji>.
- URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0978032390800900233X>.
- URL: <https://link.aps.org/accepted/10.1103/PhysRevLett.107.056402>.
- URL: <https://www.chemistryworld.com/features/the-quantum-dot-story/4018219.article>.
- URL: http://jetpletters.ru/ps/413/article_6504.pdf.
- URL: [https://engineering.pnzgu.ru/files/engineering.pnzgu.ru/iit_2016_vol_1__3_krevchik\(9\).pdf](https://engineering.pnzgu.ru/files/engineering.pnzgu.ru/iit_2016_vol_1__3_krevchik(9).pdf).
- URL: <https://doi.org/10.1063/10.0020874>.
- URL: <https://bit.ly/3RqkiUf>.
- URL: <https://www.bit.ly/3TtCOWD>.
- URL: [https://doi.org/10.1016/S0038-1098\(85\)80025-9](https://doi.org/10.1016/S0038-1098(85)80025-9).
- URL: <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/770812/>.
- URL: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/79/a079z1p01.pdf>.
- URL: [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(93\)90275-R](https://doi.org/10.1016/0038-1098(93)90275-R).
- URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-8949/1991/T39/033>.
- URL: <https://ngs.ru/text/world/2023/10/06/72781742/>.



Прообраз Интернета: история средств распространения информации

Андрей Кашкаров

Как совокупность технологий с использованием проводимости электрического тока для обработки информации и вычислений «электроника» и понятие РЭА появились в 1930-х годах XX века. Однако выпрямлять, модулировать, усиливать, преобразовывать ток, управлять с его помощью реле, создавать системы автоматизации, в том числе с дистанционным управлением, и обмениваться электрическими сигналами начали намного раньше. Современный Интернет как средство доставки и создания информации можно считать последователем традиций не только подписных изданий, газет и журналов, радиовещания, но и самых первых изобретений в области электроники. В ретроспективе рассматриваются события 1923–1924 гг., когда Москва и Ленинград впервые стали транслировать радиопередачи на всю страну, что дало новый импульс в развитии радиосвязи и инженерной мысли, результаты которой мы имеем сегодня.

Массовое радиовещание как результат развития радио

В 1922 году в обиход впервые введено понятие «рабочее радиолубительство», закреплённое позже постановлением от 28 июля 1924 года «О частных приёмных радиостанциях». Это дало импульс развитию всей электронной промышленности, поскольку определение электрона как основы электрического тока и проводимости является базовым и для устройств – анахронизмов эпохи, и для современных технологий передачи данных. Если задуматься о способах создания и совершенствования элементной базы современной радиоэлектроники, становится понятно, что развитие радиосвязи явилось необходимым импульсом к современным интегрированным системам, окружающим нас повсеместно, в том числе в области автоматизированных систем управления, электронных датчиков различного назначения и новейших средств коммуникации между людьми. Поэтому без радио, без истории создания первых реле на электромагнитной основе и «токовых ключей» (сначала на радиолампах, потом – на полупроводниках) для управления ими немисливо представить развитие электроники и автоматизации во многих сферах сегодняшнего дня.

25 сентября 1921 года в Москве на Вознесенской улице (ныне улица Радио) начато строительство первой в

России Центральной радиотелефонной станции. В то же время в Нижегородской радиолaborатории Бонч-Бруевича был спроектирован и изготовлен ламповый радиопередатчик мощностью 12 кВт. 17 сентября 1922 года в радиоэфире состоялся первый в послереволюционной России радиоконцерт. В этот день впервые прозвучали слова «Слушайте! Говорит Москва!» и было положено начало вещания «Радио Москвы». Это случилось во вновь построенной Центральной радиотелефонной станции на Шаболовке, где состоялась первая речевая передача из Москвы, и в радиоэфир посредством антенн Шуховской радиобаши передан первый радиоконцерт артистов Большого академического театра, среди которых Антонина Нежданова, Ксения Держинская, студенты и профессора Московской государственной консерватории. Артисты исполняли концертные номера вблизи обычной телефонной трубки. Слушать концерт могли во всех городах РСФСР, где имелись приёмные станции. Радиоприёмные станции регионального значения быстро стали преобразовывать и усиливать сигнал для проводного вещания – так «радио» по проводам быстро дошло и в глубинку, где сначала передачи слушали через «головные телефоны», а вскоре появились громкоговорители-ретрансляторы на основе динамических головок с диффузором. На рис. 1 представлена иллюстрация

приёма радиоэфира «за чашкой чая» (1925 г.).

12 октября 1924 года Бюро содействия радиолубительству МГСПС начало систематическое радиовещание через арендованную Сокольническую радиостанцию (станция имени А.С. Попова). Передача началась в 12 часов дня докладом «О роли В.И. Ленина в развитии советской радиотехники и задачах рабочего радиолубительства». Затем строитель радиостанции А.Л. Минц сделал сообщение о технике радиовещания. Расписание массовых радиопередач заранее публиковалось в газетах, и вскоре они стали регулярными. К середине 1920-х годов регулярное радиовещание продвинулось в национальных республиках СССР. В программах вещания значительное место занимали трансляции партийных съездов, конференций, передачи для детей, образовательные программы. Не отставали и другие. 28 октября 1923 года в эфире прозвучало: «Внимание, говорит Берлин!» Регулярное радиовещание в Москве началось 23 ноября 1924 года, когда в эфир был передан первый номер «радиогазеты». 24 ноября 1924 года первая радиопередача вышла в эфире Ленинграда. Студия располагалась в Ленинградском электротехническом институте имени В.И. Ульянова (Ленина), сегодня это Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. Уже через неделю основано Северо-Западное отделение АО «Радиопередача», а с 24 декабря 1924 года радиовещание в Ленинграде стало регулярным. На рис. 2 представлена иллюстрация «сеанса шахматной игры» на центральной площади Ленинграда (1924 г.). С одной стороны играл гроссмейстер, а с другой – другой гроссмейстер передавал «ходы» по радио и затем по телефону.

Мощность первого передатчика, созданного работниками Центральной радиолaborатории, равнялась 1 кВт. До 1924 года иметь частные радиоприёмники в СССР запрещалось, однако, сознавая важность радиопропаганды (Ленин: «Радио – это газета без бумаги и расстояний»), Совнарком пошёл

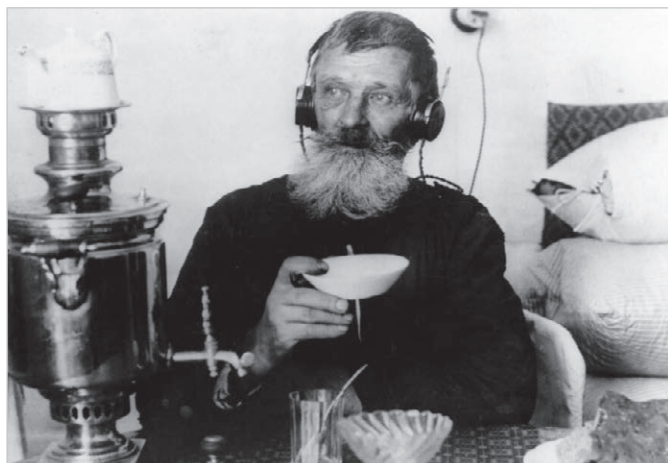


Рис. 1. Иллюстрация приёма радиоэфира «за чашкой чая»: сочетание приятного с полезным



Рис. 2. Игра в шахматы в Ленинграде посредством проводной связи и радиосвязи

на беспрецедентную разрешительную меру и издал постановление от 28 июля 1924 года «О частных приёмных радиостанциях», разрешающее с определёнными оговорками их изготовление и эксплуатацию частным порядком. Для ускорения начала регулярного вещания требовался мощный стимул, причём на государственном уровне, и он случился. Теперь частным пользователям разрешалось иметь приёмные радиоустройства, а радиолюбителям – конструировать радиоприёмники. Кроме того, постановление стимулировало развёртывание промышленной базы по выпуску радиовещательных приёмников.

С 1929 года из Москвы началось регулярное иновещание: трансляция радиопередач на зарубежные страны. А следом уже велись разработки учёных (Зворыкин, Шмаков и многие другие) по передаче на расстояние не только голоса, но и изображения. В то время по-настоящему массовыми стали детекторные приёмники как простые и дешёвые средства получения информации из радиоэфира. Изготавливали их самостоятельно, ибо даже полупроводник для детектора можно сделать самому. Увлечение радио было настолько массовым и сильным, что детекторными приёмниками «болели от мала до велика» даже после появления в продаже ламповых радиоприёмников.

В научных кругах и среди инженеров часто проводились эксперименты, и время от времени получались необычные результаты. Ещё в 1909 году английский учёный Уильям Икклз обнаружил, что детектор в определённых условиях может работать как генератор колебаний и усилитель.

А первый образец так называемого «пустотного реле» был продемонстрирован в 1915 году. 19 июня 1918 г. коллегия Наркомпочтеля приняла постановление об организации Тверской радиолaborатории (ТРЛ) с мастерской со штатом 59 человек при Тверской радиостанции для разработки и изготовления радиотехнических приборов и, прежде всего, необходимого количества катодных реле – радиоламп. Управляющим лабораторией стал начальник станции В.М. Лещинский.

Радио и электронные системы коммуникации

Многое объединяет понятия «радиосвязь» и «современные системы коммуникации»: по сути, у них есть общий смысл – дистанционная и моментальная (относительно времени приёма и получения) передача информации. От электронных компонентов – радиоламп и дискретных элементов – до новейших чипов на кристаллах конвейерного изготовления прошло чуть более века. Два необходимых условия сопутствовали развитию коммуникации посредством проводимости электрического тока: возможность и способность передавать и принимать информацию. Конечно, нельзя не вспомнить когереры Маркони, Бранли, Лоджа и созданный на их основе «грозоотметчик» Попова. На рис. 3 представлен радиокондуктор Эдуарда Бранли.

До середины 1950-х годов основным компонентом электронного оборудования, в том числе для радиосвязи, были вакуумные лампы. Главным недостатком вакуумных ламп была громоздкость. Ламповые ЭВМ занимали

по несколько комнат, требовали постоянного охлаждения и по современным меркам обладали слабым быстродействием. Считается, что история полупроводников началась в 1833 году, когда физик Майкл Фарадей заметил, что электропроводность сульфида серебра повышается при нагревании. Некоторые соли и металлы реагируют обратным образом: чем выше температура, тем слабее пропускают они электрический ток. Позже Антуан Анри Беккерель заметил, что некоторые материалы меняют электропроводность под воздействием света.

24 декабря 1947 года сотрудники Bell Telephone Laboratories Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Уильям Шокли представили первый транзистор. Это другая, хоть и связанная с радио, история. Первый патент на концепцию полупроводникового транзистора, в котором использовался сульфид меди, ещё в 1926 году подал американский изобретатель польского происхождения Юлиус Лилиенфельд. Но и тогда не удалось воплотить гипотетическую идею в жизнь – её реализовали 20 лет спустя. Только в 1950 году Шокли получил патент на оригинальный транзистор, а Браттейн и Бардин – на трёхэлектродную версию. Спустя 6 лет все трое получили Нобелевскую премию по физике. Бардин стал единственным человеком, получившим премию дважды, и в 1972 году с двумя другими физиками был отмечен за разработку теории сверхпроводимости. В качестве полупроводников для транзисторов использовали однокристалльный кремний с высокой степенью очистки – удобный, дешёвый и универсальный материал. На рис. 4 представлена иллюстрация опыта «коша-

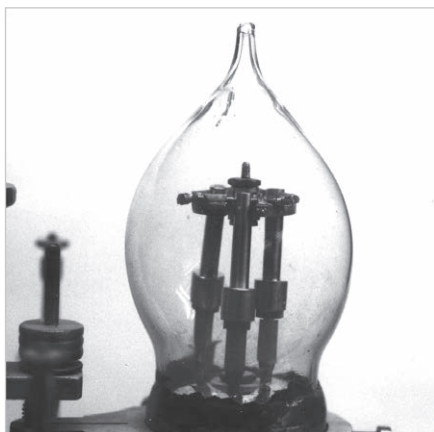


Рис. 3. «Радиокондуктор» Эдуарда Бранли

чий ус»: так первые полупроводники «выращивали» в лабораториях, «вытягивая» расплавленное вещество.

Открытие транзисторов породило новую индустрию, причём главным покупателем стали военные, а чуть позже и НАСА. В опытах для изменения свойств полупроводник обогащали добавками, примесями, в том числе мышьяком. Свойствами полупроводников обладают разные химические элементы, вещества, их производные, к примеру, сапфир, сульфид серебра. Прорывом стали германиевые транзисторы, по свойствам более чувствительные, но подверженные температурному нагреву. А при нагреве полупроводниковые свойства германия значительно изменяются. Поэтому германиевые транзисторы применялись в электронных (в том числе для радиосвязи) конструкциях со слабыми токами, в гетеродинах, входных узлах приёмной техники и др.

Вклад российских инженеров

Открытие полупроводников и создание полупроводниковых приборов – один из важнейших инновационных прорывов XX века, к которому «приложили руку и опыт» профессора В.К. Лебединский и М.А. Бонч-Бруевич. Считается, что первый в мире полупроводниковый прибор – изобретение инженера О.В. Лосева. Инженер появился на свет в год, когда А.С. Попов, будучи представителем Морского ведомства, в составе российской делегации участвовал в Конференции по беспроволочной телеграфии в Берлине. Конференция проводилась с целью регулирования использования беспроволочного телеграфа между судами в море и береговыми станциями (для обеспечения безопасности мореплавания). Лосев изучил и опи-



Рис. 4. Иллюстрация опытной установки «кошачий ус»

сал эффект «холодного свечения» при помощи полупроводниковых кристаллов. Можно предполагать, что именно Лосев, сотрудник Нижегородской радиолaborатории (1922), инженер, которого называли самоучкой, предвосхитил открытие эффекта светодиода, фотодиода, лавинного диода, полупроводникового гетеродина, приёмника, прототипа транзистора, факса и даже телетайпа. Олег Лосев работал над увеличением чувствительности детекторов и обнаружил эффект усиления сигналов; опытный образец регенеративного приёмника на полупроводниках получил название «кристадин». А в 1954 году организован Институт полупроводников АН СССР, директором которого стал научный руководитель О.В. Лосева академик А.Ф. Иоффе. Кстати, в 1941 году, независимо от американских физиков, Вадим Лашкарёв предположил, что два типа проводимости разделены гипотетическим переходным слоем, препятствующим электрическому току. Разумеется, мы акцентировали внимание лишь на нескольких именах русских инженеров; на самом деле в исследовательских работах их участвовало гораздо больше. К слову, многие выдающиеся учёные покинули этот мир до мирового признания своей славы; Лосев умер в 39 лет, Попов – в 46.

Полупроводник – всего лишь материал. Чтобы использовать особенности материала, инженеры работали над сложными устройствами, управляющими током и преобразующими его. Главный элемент транзистора – р-п-переход (positive-negative), ставший элементом более сложного биполярного транзистора: в одном

монокристалле сформированы две области, отличающиеся механизмом электропроводности. Из миллионов комбинаций транзисторов состоят микросхемы и современные ПЛК.

Цифровая радиосвязь сегодня

В наше турбулентное время, когда спутники бороздят космические орбиты, работа в радиоэфире не утратила, а приобрела новые свойства и возможности. Кроме того, что любительская радиосвязь сохранилась, и по всему миру насчитываются миллионы радиолюбителей, существуют ассоциации, объединяющие заинтересованных лиц. В том числе через территориальные отделения Роскомнадзора организована система сдачи экзаменов для присвоения радиолучительской категории; так, «любители» давно перестали откликаться на это детское прозвище и в названия своих объединений ввели слово «профессиональные». Можно, разумеется, подумать, что развитие радиолучительского хобби в основе имеет психологическое объяснение: человеку необходимо самоутверждаться в социальном соревновании с другими, потому он собирает дипломы со всего мира, подтверждающие причастность к миру радиосвязи. Отчасти так, однако такое объяснение следует считать излишне упрощённым. На самом деле радиоэлектроника потому и «живуча», что соединяет в себе желание и возможность к изобретению и совершенствованию приёмопередающих устройств РЭА, а также имеет присущее всем увлечениям твор-

ческое начало. Огромное количество перспективных разработок в области электроники, актуальных для своего времени, дало миру именно радиолюбительское движение, и многие действующие сегодня специалисты отрасли, разработчики высоких технологий, в том числе в сфере автоматизации производства и электронной коммуникации, «выросли» из увлечения радиосвязью.

В XXI веке можно сказать, что открытие эффекта полупроводника, а затем и главного (первичного) элемента любого высокоинтегрированного чипа привело к важнейшему открытию в области электроники XX века. Речь о цифровизации. Она стала возможной после того, как два состояния, «открыто» и «закрыто», «1» и «0», соответственно «высокого» и «низкого» логических уровней стали управляемы и воспринимаемы с помощью электронных устройств. Так начался «цифровой» век в электронике, пришедший на смену «аналоговому» (передача данных аналоговым способом), который теперь в шутку называют веком «доисторического материализма».

Последовательностью состояний «единиц» и «нулей» можно записать любую фразу, сообщение, оцифровать любую информацию, в основе которой символ. А символом может быть всё что угодно, даже маленькая точка на картине или видеоизображении. Усилиями разработчиков РЭА были созданы АЦП-ЦАП (аналогово-цифровые преобразователи) сигнала. В радиосвязи появились цифровые виды.

- RTTY на диапазоне 20 м (14 МГц) в участке между 14 070 и 14 100 кГц («вызывная» частота 14 080 кГц). Часто телетайп слышно, в зависимости от условий прохождения, на диапазонах от 40 до 10 м.
- Стандарт цифровой связи BPSK-31. Большинство PSK-станций работают на частотах 14 070 кГц (а также 7040, 21 070, 28 080 и 28 020 кГц). Сигнал, излучаемый передатчиком, занимает в эфире полосу всего 31 Гц, что позволяет использовать на приёмной стороне узкополосные фильтры.

Таким образом улучшается соотношение сигнал/шум, что актуально для радиоэфира во все времена, особенно сегодня, когда эфир буквально перегружен разными видами связи. Есть много других стандартов цифровой связи, к примеру, WSJT, и каждый заинтере-



Рис. 5. Диплом члена EPC

сованный выбирает свой. Для решения профессиональных задач (в том числе чтобы журналисты и «радиохулиганы» не могли контролировать служебные переговоры специальных служб) совместными усилиями Ассоциации средств связи и общественной безопасности в начале XXI века разработан набор стандартов с открытой архитектурой APCO-P25. В системе предусмотрены 2 варианта передачи данных: с подтверждением приёма и без подтверждения. При передаче данных для исправления ошибок используется избыточное решётчатое кодирование и межблочное перемежение. Исходные массивы данных разбиваются на фрагменты длиной не более 512 байт. Без специальной платы-адаптера прослушать такие переговоры невозможно. Несмотря на то что стандарт радиосвязи (в том числе носимые радиостанции) для правоохранительных органов, специальных служб, спецподразделений и даже медицинской службы в период 2007–2012 гг. переведён в «цифровой вид» с применением APCO-P25 (и др.), по всей стране до сих пор используется и условно «старая» система аналоговой радиосвязи без шифрования и кодирования. Сотрудники лишь пользуются кодовыми словами, к примеру, «нахожусь в контрольной точке A15», и не произносят фамилий, а в условно сложных случаях в эфире на служебной частоте можно услышать «срочно позвони в дежурную часть». На соответствующих частотах, в том числе с помощью ПК, и сегодня можно услышать нешифрованные перего-

воры в аналоговом формате. Так что радиосвязь в эфире не умирает и востребована. Другое дело, что системы передачи данных совершенствуются и разрабатываются новые. Более того, радиосвязь может являться условной альтернативой современному Интернету; если рассматривать, к примеру, китайский вариант для коммуникации частных лиц внутри страны, тогда общение в радиоэфире открывает поистине огромные возможности для коммуникации с «внешним миром».

Для радиолюбителей актуальны системы цифровой радиосвязи PSK: они делятся на разные скорости передачи текста (PSK-31, PSK-63, PSK-125), но основным является BPSK-31 [1]. Клуб операторов любительского радио организован 10 июня 2006 года с целью поддержания высокого уровня частных радиосвязей в цифровых видах PSK. Это международный клуб PSK или EPC (The European Phase Shift Keying Club). Авторский диплом-свидетельство за номером 6690 представлен на рис. 5.

Радиосвязь, в том числе «любительская», продолжает жить, причём есть молодые и увлечённые специалисты, которые принимают эстафету от старших товарищей, чем обеспечивается дальнейшее совершенствование отрасли и преемственность поколений разработчиков РЭА в области электронных коммуникаций.

Литература

1. Цифровые виды связи радиолюбителей // URL: <https://habr.com/ru/articles/128003/>.



Особенности и возможности индийского рынка радиоэлектроники

Андрей Кашкаров

Среди потенциальных технологических партнёров России многие сейчас выделяют именно Индию, а не Китай. Индийская экономика растёт высокими темпами, правительство Индии активно стимулирует развитие высокотехнологичных отраслей. Индия не присоединилась к санкциям против нашей страны, что позволяет вести совместные проекты с индийскими компаниями. Но, несмотря на все эти плюсы, есть и масса тонкостей, подстерегающих нас на пути сотрудничества.

Введение

Для разработчиков РЭА и предприятий в сопутствующих сферах важны новые направления развития производственного рынка и логистических поставок электронных компонент. О сотрудничестве с КНР [1], Вьетнамом, странами африканского континента [2] и даже Казахстаном [5] мы говорили ранее, а в этом обзоре рассмотрим возможности и особенности профессиональных взаимосвязей с Индией, недавно сменившей официальное название страны на Бхарат. Стремительное развитие экономического и производственного сектора страны позволяет увидеть перспективы сотрудничества в области расширения взаимных поставок электронных компонентов и РЭА, открытия новых производств и т.д. Так открывается скрытый доселе канал «альтернативного» и выгодного (относительно КНР) рынка современной электроники.

Страна победившего Бхарата

Новое название страны в новинку только нам, оно давно именно так звучит на санскрите и хинди. Посматривая в сторону Индии, необходимо знать, что Бхарата – арийский царь в джайнизме и индуизме. И если предыдущие правители Кошалы вели происхождение «от Солнца», то Бхарата повёл свой род «от Луны». Завоевав территорию индийского субконтинента, назвал его «Бхаратаварша», причём в некоторых пуранах Бхаратаваршей называют всю территорию земного шара, а не только Индию и прилегающие территории. Каковы масштаб и претензия были ещё тогда! Но затем, исполнившись смире-

ния, Бхарата принял джайнизм, отрёкся от мира и достиг нирваны. Индия-Бхарат – довольно большая страна с быстрорастущим населением в 1,43 млрд человек (на 2023 год) и территорией, составляющей 3 287 263 км². По числу граждан это крупнейшая страна Южной Азии, обладающая собственным ракетостроением и космодромами, а также де-факто ядерным оружием. Индия занимает 7-е место по территории среди мировых держав. Сегодня Индия – парламентская республика, она наравне с Египтом и Китаем является родиной древнейшей цивилизаций в истории человечества. В прошлом – одна из важнейших колониальных провинций Британской империи, «страна алмазов», кладов и приключений и, конечно же, индийского кино. Кино, как одна из сфер искусства, в Индии имеет давние и богатые традиции, связанные с культурой. А феномен «привлечения» и «зависимости» к индийским сериалам также помогает раскрыть сущность индийского подхода и ко всему остальному, в том числе деловому развитию. Так, мы не лишены возможности понять партнёра через его культуру, а поняв, можем более уверенно и успешно вести сотрудничество, ориентируясь на Бхаратаваршу на российский рынок, вместо альтернатив и конкурентов. Это очень важный момент для успешного взаимодействия. Поэтому проблема сотрудничества лежит не только, и не столько в инвестициях (тем более что Россия не обладает в экономическом смысле возможностями, к примеру, США и КНР), а в том, чтобы найти соответствующий подход.

Результат инвестиций в микроэлектронику и производство чипов

К крупным производителям полупроводниковых чипов и иных продуктов микроэлектроники традиционно относятся США, Япония, Китай, Южная Корея, Сингапур и др. – столпы и опоры для глобальной экономики в конкретном секторе производства. Развёртывание производства полупроводниковых пластин (FAB) в Бхарате последнее десятилетие шло с разным успехом, до недавнего времени было только 2 собственных консорциума с крупным производством чипов. Тем не менее известны комплектующие к ПК и ноутбуки (и др. электронное оборудование) индийского производства. В России наиболее востребованы пока модули и оборудование для телекоммуникаций. До недавнего времени производственный сектор в сфере РЭА был в основном ориентирован на сборочный сегмент.

Одним из препятствий, мешавших развернуть крупномасштабное собственное производство компонент, чипов и, в частности, FAB, являлась необходимость значительных инвестиций в экономику страны. Кроме инвестиций производство требует значительного расхода чистой воды, запасы которой в регионе Индокитая не везде достаточны. Бесперебойное снабжение электроэнергией с развитой инфраструктурой тоже не охватывают всю территорию. Ценовое давление конкурентов, в частности КНР, также условно мешает развитию индийского рынка микроэлектроники, как и их стремление к экспансии по всему миру. К примеру, китайцы хотят построить завод по производству электроники в России. Кстати, рынок индийской микроэлектроники и РЭА ещё и потому перспективен для нас, что ослабляет условный диктат цен и ассортимента, характерный для поставок компонентов из КНР, особенно в период активных экономических санкций. Притом что ВВП Индии чуть больше 3,4 трлн USD (значения изменяются в динамике и вообще относительны), в стране ещё 3-4 года назад не было заметного производства микросхем и полупроводникового про-

Структура экономики в Индии, в процентах от ВВП



Рис. 1. Инфографика структуры экономического сектора Индии

Таблица 1. Таблица роста крупнейших экономик мировых держав за 5 лет в % роста и снижения

Страна/год	2017	2018	2019	2020	2021
Китай	6,95	6,75	5,95	2,24	8,11
Германия	2,68	1,09	1,06	-4,57	2,89
Пакистан	4,43	6,15	2,5	-1,33	6,03
Россия	1,83	2,81	2,2	-2,68	4,82
США	2,26	2,92	2,29	-3,4	5,67
Индия	6,8	6,45	3,74	-6,6	8,95

изводства. Теперь экономика Индии – шестая по размеру ВВП в мире. Рост в 2022–2023 гг. на 10% показывает сопоставимое с КНР развитие (см. табл. 1).

Примечательно, что Пакистан из того же региона Южной Азии приближается к Бхарату по показателям роста, а также то, что КНР не теряет темпов роста вне зависимости от сложной ситуации с коронавирусом в 2019–2021 гг. относительно других стран. Табл. 1 и сопутствующие статистические данные предложены в [7], те же данные подтверждаются и другими источниками. Любопытно, что, по открытым данным ООН, за первое полугодие 2023 года среди 207 стран мира индийская экономика позиционирует рост на 7-м месте, а российская уже не входит в «пятерку», как было 2 года назад, её место в условном рейтинге – 11 (у КНР – второе).

На рис. 1 представлена инфографика структуры экономического сектора Индии (Всемирный Банк).

Из вышеуказанного видно, что почти половину этого сектора занимает сфе-

ра услуг (а не производства), в том числе сфера обработки металлов, алмазов, химических элементов. А к «остальному» относится, в частности, и производство электроники.

Тем не менее тренд развития индийской промышленности – независимость как основной вектор перестройки экономики и производственной сферы. Как подтверждение и компенсация этому, значительных и признаваемых мировым сообществом результатов достигли индийские программисты; их продукты (ПО) буквально наводнили мир. Развитие также было немислимо без инвестиций в образовательный сектор и создания экономически выгодных условий для профориентации заинтересованных людей и совершенствования технологий, оно состоялось за счёт сочетания качества работы и стоимости рабочей силы. Теперь вопрос с инвестициями решён (был в активной фазе 2 года). Индия разворачивает полный цикл производства полупроводнико-

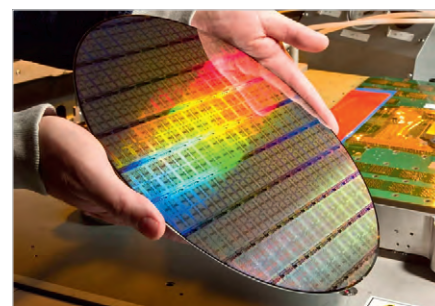


Рис. 2. FAB-пластина индийского производства

вых элементов и матриц дисплеев, производство кристаллов чипов, формирования микросхем из кристаллов. На рис. 2 представлена FAB-пластина индийского производства.

Речь о техпроцессах 28–45 нм с перспективой освоения техпроцесса плотностью в 10 раз большей (4 нм). Уровень технического знания таков, что в Индийском институте науки (IIS) проведены собственные исследования полупроводникового производства на базе нитрида галлия. Стоимость исследования оценивается в 25 млрд рупий. Полупроводники на основе нитрида галлия – современный тренд, лучшая альтернатива производству полупроводников на кремниевой основе, доминировавшей ранее даже у ведущих игроков рынка. В производство индийской промышленной микроэлектроники вложены не миллиарды, а триллионы долларов США. Прямо сейчас происходит качественный скачок развития индийской микроэлектроники на новый уровень, чипы уже производят десятки компаний (вместо двух в 2021 году). Это свидетельствует о росте в ближайшие годы рынка электронных продуктов индийского производства. Пока в России заинтересованные лица рассматривают вопрос – стоит ли инвестировать свободные средства в индийские компании, и почему западные концерны уже сделали это 3–5 лет назад. Соответственно, надо ожидать и результаты. На рис. 3 иллюстрирован товарный импорт Баххарата по отраслям производства. Источник данных – Министерство торговли и промышленности.

Из инфографики видно, что ко второй половине 2022 года импортный рынок электроники позиционировался на уровне 10% от общего импорта. То есть Бхарат электронику больше импортировал, чем продавал. При этом Россия занимает 25-ю строчку среди торговых партнёров Индии со следующими показателями (примерно):

Товарный импорт Индии по отраслям, в процентах от общего товарного импорта за апрель-июнь 2022



Рис. 3. Товарный импорт Баххарата по отраслям производства

общий экспорт из Индии 3,3 млрд USD (в том числе фармацевтика и драгметаллы), импорт в Индию 10 млрд USD при общем торговом обороте, сопоставимом с 13 млрд USD. Тем не менее доля экспорта в Россию от всего экспорта Индии в 2022 составила всего-то 0,77%, но даже по сравнению с предыдущим 2021 г. экспорт Индии в Россию вырос наполовину и превысил «доковидные» значения [7]. Примерно 520 млн USD – таков показатель индийского экспорта в Россию по состоянию на 2023 год в сфере электрических машин, оборудования и запчастей, звукозаписывающей и воспроизводящей аппаратуры, электронных устройств для записи и воспроизведения телеизображения и звука, их частей и принадлежностей. Это основная группа товаров индийского экспорта в Россию, в числе других фармацевтическая продукция, алмазы и оборудование для их обработки, органические химические соединения, чёрные металлы, механические устройства и оборудование для переработки нефти и др.

В России пока (2023 год в сравнении с 2022) дела обстоят следующим образом (это видно из новостей и анонсов в открытом доступе): 10% российских разработчиков электроники и телеком-оборудования перенесли производство за рубеж, Минпромторг выделил 2,2 млрд рублей на разработку материалов для чипов, российские производители электроники и чипов попросили защиты от китайских конкурентов, в том числе для того, чтобы заменить в производстве отечественных автомобилей чипы из КНР отечественными. На этом фоне определены 15 дружествен-

ных стран, в том числе Бхарат, готовые сотрудничать с российскими компаниями в сфере электроники, а Росатом и РАН разрабатывают фотолитограф для производства микроэлектроники.

Особенности в логистическом процессе

Товары по маршруту Россия-Индия (не только микроэлектроника) идут по двум путям: морем и сушей. За последние 2 года изменилась локация и скорость поставок. Традиционный транспортный путь поставок морем из России в Индию лежит из черноморских портов через Суэцкий канал. Альтернативный путь – транзитом через Иран: груз доставляется до порта Бендер-Аббас на выходе из Персидского залива, откуда морскими судами поступает в порты Мумбаи или Ченнаи. Первый расположен на западном побережье Индии, а второй – на восточном, что позволяет за счёт выбора порта сократить расстояние до конечной (или начальной) точки маршрута. Доставка в Бендер-Аббас носит характер мультимодальной перевозки. По территории России грузы доставляются в порты Каспийского моря (Астрахань, Махачкала), откуда морем поступают в иранские порты на Каспии. Оттуда транспортировка осуществляется грузовыми автомобилями или при помощи местного ж/д сообщения. В среднем товары из Бхарата морем достигают российских портов за 8-10 дней. А по сухопутному пути до границ России – за 15-16 дней, но без учёта таможенных процедур. Общий же срок доставки несрочных грузов может превышать 30-40 дней. Для транспор-

тировки грузов в перспективе будет удобен транснациональный коридор «Россия» от Владивостока до Петербурга и Калининграда через Москву. Сегодня это пока ещё только сеть «дорог». Поиск новых путей, альтернативных европейскому направлению, вдохновляет российских стратегов на подобные инициативы. Возможно обратить внимание и на открывшийся относительно недавно условно новый путь из Европы в Азию с говорящим названием БТК (Баку-Тбилиси-Карс и далее). О перспективе подробнее в авторской публикации [3].

Статистика, выводы и перспективы

В июне 2022 года Индия импортировала товаров и услуг больше на 17,51 млрд USD, чем экспортировала. Тем не менее это серьёзное увеличение по сравнению с ранним периодом. В 2023-2024 финансовых годах ожидают рост индийской экономики ещё на 7%. Основное «топливо» экономики Индии – внутреннее потребление и инвестиции, составляющие 70% от экономической активности. Капитальные вложения в инфраструктуру и деятельность по созданию активов растут. Динамика роста экспорта из Индии позволяет увидеть хорошее будущее индийской экономики. Как мы проанализировали выше, для российских разработчиков и предпринимателей производство в Бхарате интересно в нескольких условных ипостасях:

- как увеличение импорта (и товарооборота) в Бхарат российской электроники;
- как выгодное размещение на территории Бхарата инвестиций, российских и совместных производств РЭА;
- как увеличение экспорта в Россию востребованного (производства Индии) электронного оборудования для телекоммуникаций, видеокарт и видеоустройств;
- как усиление сотрудничества с Бхаратом в космической сфере, производства РЭА для отрасли, а также запуск спутников;
- как потенциальное партнёрство для экспорта в Россию чипов и микросхем производства Индии;
- как усиление сотрудничества в ИТ, обмен технологиями и опытом в области востребованного программного обеспечения;

- как создание альтернативного канала – «подушки безопасности» поставок электронных компонентов в случае осложнения экономических отношений с КНР.

Электроника представляется перспективным направлением развития поставок, во-первых, потому, что такая сфера интересов наших специалистов, во-вторых, потому, что новейшие вызовы времени показали необходимость поиска и закрепления новых (альтернативных) рынков сбыта в сфере современной электроники и технологий автоматизации – для развития собственно российских производств, в том числе за рубежом, а в частности – в регионе Индокитая. Во всяком случае, смотреть на перспективу и давать себе труд задумываться о происходящем – это прерогатива мудрого человека, и очень хорошо, что такой эпитет пока ещё можно применить к многим талантливым разработчикам РЭА в России.

Как вести бизнес с Индией: реалии общения

Языком делового мира в Индии является английский, его не просто знают, но и говорят на нём подавляющее большинство граждан, включая рабочую сферу на производстве, чего не скажешь о российских реалиях. Поэтому на возможных переговорах российскому партнёру желательно уверенно обладать техническими терминами. Встречи и деловая переписка традиционно ведутся по электронной почте. Обращаться следует по имени и фамилии, добавляя статусное «господин»/«госпожа». Индийцы внимательны к паритету и статусу. Если Н.В. Гоголь справедливо писал («Мёртвые души») о том, что «у нас на Руси если не утнались ещё кой в

чем другом за иностранцами, то далеко перегнали их в умении обращаться. Пересчитать нельзя всех оттенков и тонкостей нашего обращения [...] у нас есть такие мудрецы, которые с помещиком, имеющим двести душ, будут говорить совсем иначе, нежели с тем, у которого их триста, а с тем, у которого их триста, будут говорить опять не так, как с тем, у которого их пятьсот, а с тем, у которого их пятьсот, опять не так, как с тем, у которого их восемьсот, – словом, хоть восходи до миллиона, всё найдутся оттенки...», то индийские партнёры нас в этом обогнали – статус и перспективы переговорщика они определяют заранее и безошибочно. Градус формальности снижают по мере общения. Ценится лаконичность и откровенность партнёров (как и везде это любят, чтобы иногда манипулировать и всегда стремиться к собственной выгоде). Крайне желательно не только декларировать, но иметь подготовленную документацию, детализирующие планы. Будьте готовы к переносам бизнес-встреч примерно так же, как в общении с вьетнамскими коллегами. Несмотря на это, устанавливайте чёткие сроки выполнения договоренностей – это дисциплинирует. Индийским партнёрам, как и многим к югу и востоку от России, свойственно желание торговаться – это исторические традиции Азии, Индокитая и двух африканских континентов, в противовес северным соседям, где платить принято столько, сколько запрошено. Партнёры из Бхарата могут шокировать слишком личным или навязчивым вопросом о семье и личной жизни. Это знак дружелюбия и интереса к собеседнику, по их традиционным понятиям. «Предупреждённый – защищён», поэтому спокойно реагируйте, в знак уважения можете

поставить аналогичный вопрос. Таковы удивительные особенности яркой культуры. Тут привыкли тщательно обдумывать детали, запасные варианты и просчитывать решения – как в шахматах – на 5 ходов вперед; будьте готовы к длительным детализированным переговорам. В целом рекомендую ознакомиться с опытом и материалами Российско-Азиатского союза промышленников и предпринимателей (РАСПП), где соответствующий опыт ментального общения вполне аккумулирован [6]. Также вы найдёте много полезного по теме в [4].

Литература

1. *Кашикар А.* О партнёрстве КНР и России в космосе и производстве РЭА // URL: https://www.soel.ru/novosti/2023/o_partnerstve_knr_i_rossii_v_kosmose_i_proizvodstve_rea/.
2. *Кашикар А.* Как развиваются электронные коммуникации в Кении? Взгляд со стороны // URL: https://www.soel.ru/novosti/2023/razvitie_elektronnykh_kommunikatsiy_svyazi_v_kenii/.
3. *Кашикар А.* Российская «широкая колея» дойдет до Турции? О перспективах масштабного железнодорожного проекта // URL: <https://dzen.ru/a/ZQqIc4tGAkc0DLrx>.
4. *Константинова П.* Как вести переговоры с индийскими партнёрами: советы для предпринимателей // URL: <https://rb.ru/opinion/peregovory-india/>.
5. *Маховик Д.* Электронный алкоголь – новая реальность июля 2023 года // URL: https://www.soel.ru/novosti/2023/elektronnyy_alkogol_novaya_realnost_iyulya_2023_goda/.
6. Чек-лист по ведению переговоров в Индии от РАСПП // URL: https://raspp.ru/business-news/checklist_negotiations_in_india/.
7. Экономика Индии // URL: <https://terra-c.ru/info/articles/ekonomika-indii/>.



НОВОСТИ МИРА

В Аризоне отложили строительство второго завода по производству чипов

На 2027 год строительство второго завода по производству чипов TSMC в Аризоне снова под вопросом: изначально запланированный запуск в 2026 году теперь перенесён на 2027 или даже 2028 год.

Это не единственный нюанс чип-производителя: планы по созданию передовых 3-нм чипов также могут быть изменены.

Сначала TSMC столкнулась с задержками и проблемами безопасности на первом заводе, а теперь второй завод, который должен был поднять планку современных технологий, снова отсрочен. Компания рассматривает возможность перехода на более крупные техпроцессы второго завода, что может оставить его далеко позади тайваньских аналогов в гонке за новейшими чипами.

Намекая на возможное изменение, TSMC указывает на решение правительства США и задержку финансирования по закону CHIPS

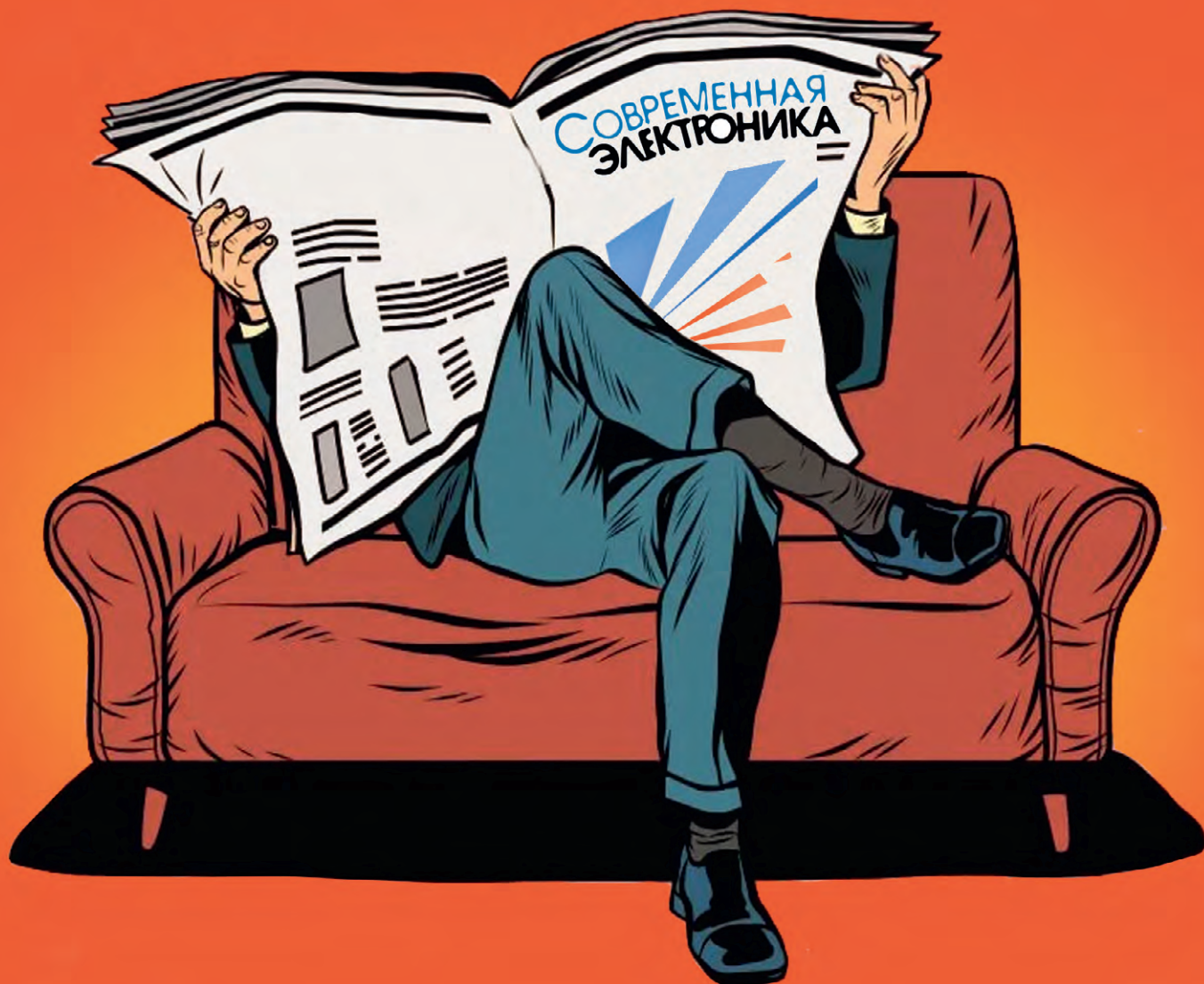


Акт. Этот двойной удар может поставить вопрос о будущем завода в Аризоне и его способности конкурировать с тайваньскими аналогами.

ferra.ru



ЧИТАЙТЕ, КАК ВАМ УДОБНО



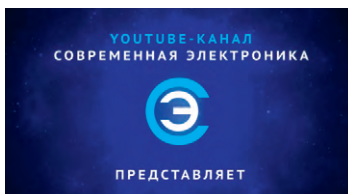
ПЕЧАТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ВЕРСИИ ЖУРНАЛА

ЖУРНАЛ С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

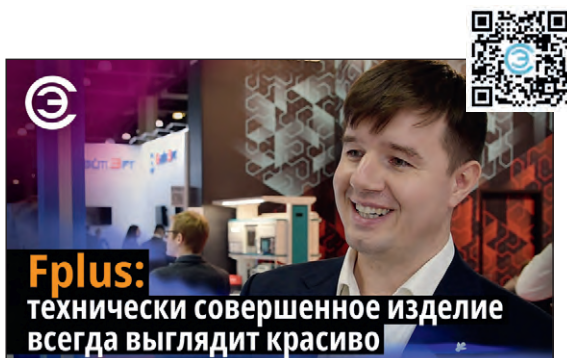
**СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

ПОДПИСКА
НА ЖУРНАЛ

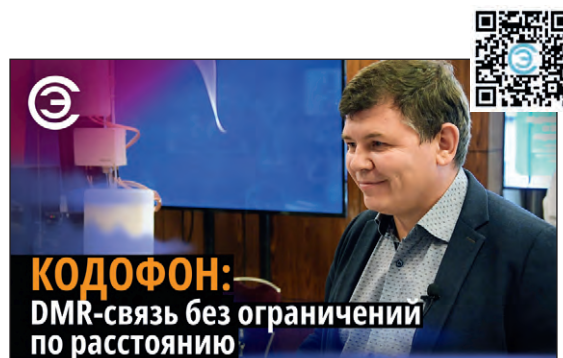
онлайн: www.cta.ru/magazines/ • +7 495 232-0087 • shop@cta.ru
на почте: по каталогу «Урал-пресс» (индекс для печатной версии 36280)



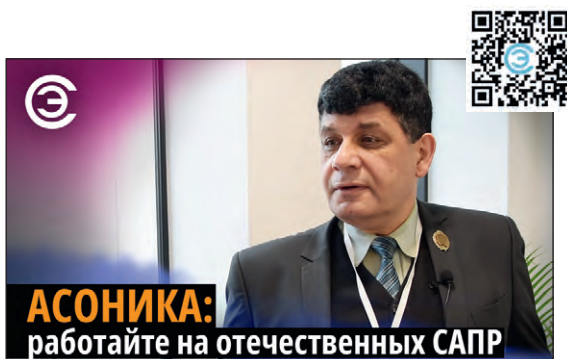
Смотрите на канале **СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**



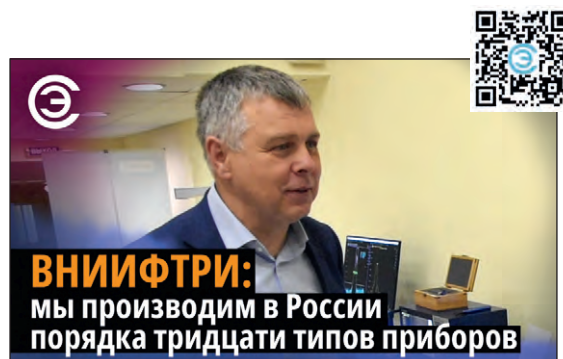
Интервью с Сергеем Трюханом –
коммерческим директором Fplus
на выставке «Электроника России»



Интервью с Александром Садыковым –
коммерческим директором Кодофон
на конференции ProfComm-2023



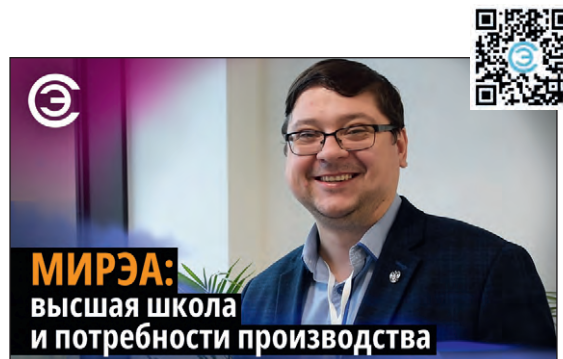
Интервью с Александром Шалумовым –
генеральным директором НИИ «АСОНИКА»,
председателем технического комитета
по стандартизации ТК 165 САПР электроники



Интервью с Иваном Михайловичем Малаем –
заместителем генерального директора
ФГУП «ВНИИФТРИ» по радиотехническим
и электромагнитным измерениям.



Интервью с Михаилом Нагорским –
техническим директором КОНЦЕРН ГУДВИН
(ГУДВИН ЕВРОПА)



Интервью с Дмитрием Воруничевым –
заместителем директора Института
радиоэлектроники и информатики, РТУ МИРЭА



Медиапортал СЭТА

Современная электроника
и технологии автоматизации



**ТОВАРИЩ!
БИЗНЕС РОСТ ЗАМЕДЛИЛ?**

РАНО ВПАДАТЬ В СТУПОР!

НУЖНО КРИЧАТЬ О СЕБЕ НЕМЕДЛЯ,

**А МЫ
ОБЕСПЕЧИМ РУПОР!**

Используй все возможности продвижения,
которые мы создали для тебя



Журналы

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



YouTube-канал

Наш канал предоставляет вам возможность интересно рассказать о себе



Сайт

Наш сайт – 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

Наши дизайнеры и верстальщики сделают для вас эффективную рекламу, баннер, ролик



СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА

+7 (917) 517-46-18 / shop@cta.ru / www.cta.ru

Приглашаем вас к сотрудничеству!